

黒毛和種牛肉の脂肪の質

小林 正人^{*1}

(社団法人家畜改良事業団 家畜改良技術研究所)

庄司 則章^{*2}

(山形県農業総合研究センター畜産試験場)

2010年9月9日 受理

はじめに

牛肉はメインディッシュとなる食材であり、その美味しさは食事全体の美味しさと満足度を左右する。牛肉の美味しさは、食感、味、香りの3つの要素と、それらを妨害するまずさの4種類の要素に分けられ、それらの要素が相互に作用し、総合的な美味しさが評価されていると考えられる(図1)。

食感では、軟らかさとジューシーさ、なめらかさ、歯ごたえなどの良い性質が挙げられ^{34,36)}、剪断力価、破断応力などの物理特性、加熱損失、保水性などの指標に加えて、脂肪交雑の程度と脂肪の融点などが大きく影響している。それに対応する悪い性質として、硬さ、ばさつき、粗剛感、のどにつかえる感じなどが挙げられる。良い肉は、噛むほどに量が減っていくのに対し、悪い肉は噛むほどに量が増え、口がいっぱいになると形容される。

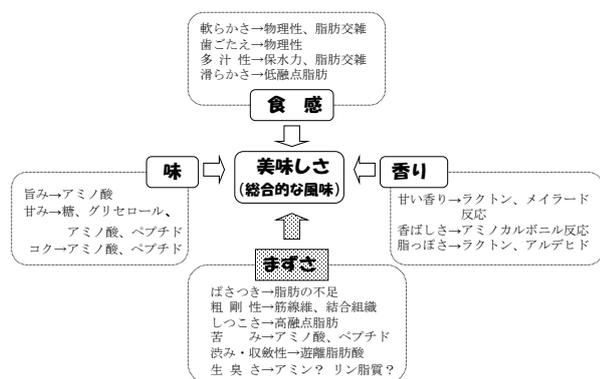


図1 牛肉の美味しさとまずさの要素

味では、甘み、旨み、コクなどが良い性質としてあげられ、これらは遊離アミノ酸、糖、グリセロール、ペプチドなどの水溶性成分との相関が高い。また、それ自身が単独で美味しさと感じられなくても、隠し味のように味をまろやかにする成分の存在も推測される。その反面、渋みや苦味、いがらっぽさ、粘膜がなめされるような収斂性¹⁰⁾が悪い性質として挙げられる。

香りでは、生の牛肉で感じられる和牛肉特有の甘い香りと、焼肉で感じられる牛肉特有の香ばしい香りが良い香りとして挙げられ、これに対して脂っぽい臭い、血生臭さ、獣臭、牧草臭などが悪い臭気とされる。香りは、最も大切な性質といわれているが、測定が難しく、また、和牛肉特有の香気成分が特定されていないこともあって、最も研究が遅れている。

美味しさの成分がいくら多く含まれている牛肉であっても、それを上回るまずさ成分が含まれる場合は、美味しさは感じられないので、牛肉の美味しさを議論するに当たっては、美味しさの要素のみならず、まずさや後味といった要素も検討する必要がある。以前から、食味試験の結果と呈味成分分析の結果は一致しないといわれてきたが、まずさに関する報告はほとんどない。

近年、脂肪の質が注目されている。脂肪は、牛肉のジューシーさ、滑らかさ、軟らかさなどの食感に影響することに加えて、近年は脂肪交雑が高まったため、脂肪の良し悪しが和牛肉の美味しさに及ぼす影響が大きくなっていると考えられる。しかし、一部には、軟らかければ軟らかいほど良いとか、オレイン酸で全てが決まるのかのような論調もあるので、あらためて脂肪の質について整理したい。

なお、本稿では以降、脂肪酸名などを次のとおり表記する。ミリスチン酸 C14:0、ミリストレイン酸 C14:1、パルミチン酸 C16:0、パルミトレイン酸 C16:1、ステアリン酸

*1 連絡者: 小林 正人
(社団法人家畜改良事業団 家畜改良技術研究所)
〒371-0121 群馬県前橋市金丸町 316
Tel. 027-269-2440, E-mail:m-kobayashi@liaj.or.jp

*2 連絡者: 庄司 則章
(山形県農業総合研究センター畜産試験場)
〒996-0041 山形県新庄市大字鳥越字一本松 1076
Tel. 0233-23-8811, E-mail: shojinor@pref.yamagata.jp

C18:0、オレイン酸 C18:1、リノール酸 C18:2、リノレン酸 C18:3、不飽和脂肪酸 USFA (C14:1+C16:1+C18:1+C18:2)、飽和脂肪酸 SFA (C14:0+C16:0+C18:0)、1価不飽和脂肪酸 MUFA、高度不飽和脂肪酸 PUFA、中性脂肪 TG、リン脂質 PL、遊離脂肪酸 FFA。

1 牛肉の美味しさと脂肪の質

(1) 脂肪の質

脂肪の質は、以前から外見、触感、食感、味、香りなどを総合して評価されてきた^{12,17,34)}。食肉流通関係者の意見は、消費者の嗜好^{14,36)}と良く一致しており、消費者の意見が集約されている。著者は、流通関係者および生産者との意見交換を重ねてきたが、その結果を集約すると、表1のようになる。

表1 脂肪の質

	良い脂肪	悪い脂肪
外見と触感	適度に軟らかいてりが出る	白く、蠟のように硬いゆるく、脂っぽくべたつく
食感	軟らかく、なめらかモチモチ感がある 口溶けがよい 広がりが高く、切れが良い 後味が残らない 練りがよく、粘りがある	硬く、ねっとりざらざらして粉っぽい 溶けにくい 広がりが高く、切れが悪い しつこく後味が残る
味	ほのかに甘い	渋い、しびれる、収斂性がある いがらっぽい
香り	甘い、香ばしい	脂っぽい、ミルク臭、牧草臭 血生臭い、魚油臭、獣臭、酸臭

外見的には、適度に軟らかくて、室温に置くと早く照りが出るものが良く、白く、蠟のように硬いもの（「蠟燭」と表現される）、ゆるくて脂っぽくべたつくもの、「ズル」様に見える、ゆるすぎるものなどは評価が低い。触感では、弾力があり、指に挟んでつぶしたときに伸びやすい（練りがよい）ものが良いとされる。

食感では、軟らかくて滑らかなもの、口の中ですばやく溶け（口溶けが良い）、広がりが高く切れがよいもの、その結果として脂っぽい後味が残らないもの、咀嚼すると粘りがあり「モチモチ感」があるものが良いとされ、硬く、ねっとりしたもの、ザラザラとして粉っぽいもの、口の中での広がりが遅く、しつこく脂っぽい後味が残って切れが悪いものは評価が低い。

味は、ほのかに甘いものが良く、渋く、いがらっぽいものは評価が低く、収斂性があるものは唇のしびれ感、口腔粘膜が凝固するような感覚および味覚の麻痺など生じて後味が悪いと、評価が低い。香りは、生の状態で甘く香ばしいものが良く、脂っぽい、ミルク様あるいは血生臭いもの、牧草臭、魚油臭、獣臭、酸臭は悪いとされる。

これらの性質のうち、軟らかさ、なめらかさ、とろける食感、てり、口溶け、ジューシーさ、広がりや切れのよさは、脂肪融点の低さに大きく影響され、本質的にはTG分子種の混合割合^{5,6,9,31)}で、間接的にはTGにしめるC18:1割合の高さで評価できる。一方、硬くてねっとりし、広がりや切れが悪く、後味が悪いものは、TGにしめるC18:0割合の高さで決まるが、切れと後味の悪さにはFFAも影響している^{10,30)}。

精製したTGには味がなく、脂肪の味と表現されるものは脂溶性の呈味物質の味である。脂溶性の呈味物質は中間的な極性を持ち、水にも脂肪にも溶解し、味覚を生じるのであって、C18:1が豊富なTGであっても、TGそのものに味はなく、また、遊離のC18:1にも味はない。融点の低いTGは、口腔内での滑らかな食感と呈味物質を溶解する溶媒として役割を果たすが、C18:0割合が多いTGは、口腔内を覆って味覚を妨害する。

(2) 脂肪とフレーバーおよび風味

牛肉フレーバーは日本語の「風味」に対応するが、flavorの一般的な意味は「舌先に感じる独特な味、風味、香味、ものの味わい、趣」であり（小学館ランダムハウス英和大辞典1974）、taste（味）、aroma（香り）、odor（におい）、smell（いやなにおい）などとは分けて用いられる。また、揮発性の風味は、flavor volatile または volatile compound と表現されている¹¹⁾。

脂肪と風味の関連では、筋肉中の脂肪含量またはマーブリングスコア、脂肪交雑の高い牛肉、C18:1およびMUFA割合が高い肉は食味が良いとされる^{10,14,26,34,35)}。しかし、脂肪割合もおおよそ30%を超えると赤身肉に含まれる旨みが減少するため、脂肪割合にも限度がある³⁶⁾ともいわれている。

Westerling³⁵⁾は、ヘレフォード種を主体とする肥育牛をフェスクの草地で180日間飼育した後、穀類を56日と112日間給与し、胸最長筋の脂肪分析と官能評価を行い、穀類給与でC18:1割合が増加しC18:0割合が減少すること、穀類給与で官能評価スコアが高くなったこと、官能評価スコアはC18:1、USFA総量、およびマーブリングスコアと正の相関を示したことを報告した。この報告は、「C18:1が多い牛肉は香りが良い」という考えかたの根拠として引用されているが、フレーバーについての評価であること、品種や肥育期間、穀類の給与期間が異なり、脂肪含量も大きく異なることから、和牛の風味や香りの良さに直接結びつくものではないであろう。

以上述べたように、脂肪の軟らかさはC18:1割合に大きく左右されており、和牛の美味しさを特徴付ける主

要な要素であることは疑いないが、味や香りを含めた総合的な脂肪の良し悪しは、単にC18:1割合で説明できるものではない。

これまでのところ、和牛肉特有の香りや風味と脂肪の質またはC18:1割合を直接に結びつける科学的な根拠は見当たらない状況にある。

2 牛の体脂肪の化学的特徴

(1) 部位別の体脂肪の特徴

体脂肪の融点は、部位によって異なり、体表で最も低く、中心部に向かって上昇することが知られ^{13,20,23,24,29,30)}、体温に関連するとされている。皮下脂肪は、寒冷時に体温を維持するとともに、物理的衝撃から体を守る働きを持つので、低温でも軟らかい脂肪は生命の維持に好都合だと考えられる。また、脂肪融点は、個々のMUFAおよびそれらの合計と負の相関を示し、個々のSFAおよびそれらの合計と正の相関を示す^{7,13)}。

著者らは、平成10年以降、牛肉の脂肪について調査を重ねてきたので、自験データを示しつつ、牛の体脂肪の特徴を紹介する。はじめに、皮下脂肪、僧帽筋の筋肉内脂肪、筋間脂肪、大網脂肪および腎周囲脂肪（以下腎脂肪）について、融点と脂肪酸組成を比較し、筋間脂肪と筋肉内脂肪は融点と脂肪酸組成が類似することを確認した⁷⁾。また、第6・7肋間切開面の皮下脂肪、僧帽筋、筋間脂肪、および僧帽筋、半棘筋、ならびに胸最長筋の筋肉内脂肪の融点と脂肪酸組成を比較し、僧帽筋は胸最

長筋より融点が約7℃低いものの、それらの融点は強い正の相関 ($r = 0.76$) を持つことを確認した⁸⁾。さらに腰最長筋を1cm角の格子状に分割し、筋肉と脂肪に分けて詳細な融点分布を調べた。その結果、隣接する筋肉サンプルで最大4.7℃の差が、隣接する筋間脂肪では最大10.3℃の差があり、脂肪は体内できわめて不均一に分布することを見出した⁸⁾。以上の結果に基づいて、調査研究する材料として、僧帽筋中心部を選んだ。

牛肉の食味成分研究では、世界的に胸最長筋が用いられているが、研究目的で肥育した場合を除き、採材することが難しいため、大規模で継続的な調査は行われてこなかった。一方、入手しやすい皮下脂肪あるいは腎脂肪を用いた調査も多いが、筋肉内脂肪と性状が異なり、また飼料の影響を受けやすいことから、検査試料としては価値が低い。頸の筋肉と横隔膜は、とちく直後に採取可能であるが、脂肪合成に関係する遺伝子発現を調査する場合は、胸最長筋と同程度の脂肪交雑が入り、脂肪酸組成の相関も高い²⁰⁾ 横隔膜が適切であろう。胸最長筋表面の脂肪をスライドガラス²²⁾ や葉匙などで削り取る方法は、脂肪交雑のTGを得る有効な方法であるが、赤味肉に含まれる複合脂質は得ることができない。また、脂肪は前述のように狭い範囲で不均一な分布をしており、少数のサンプルを高い精度で分析する意味は薄いので、著者は食味成分研究を行う場合、目的を明確にし、それに合わせた調査部位と分析方法を選ぶのが良いと考えている。

ついで、部位別の脂肪の脂肪酸組成と融点の関係を

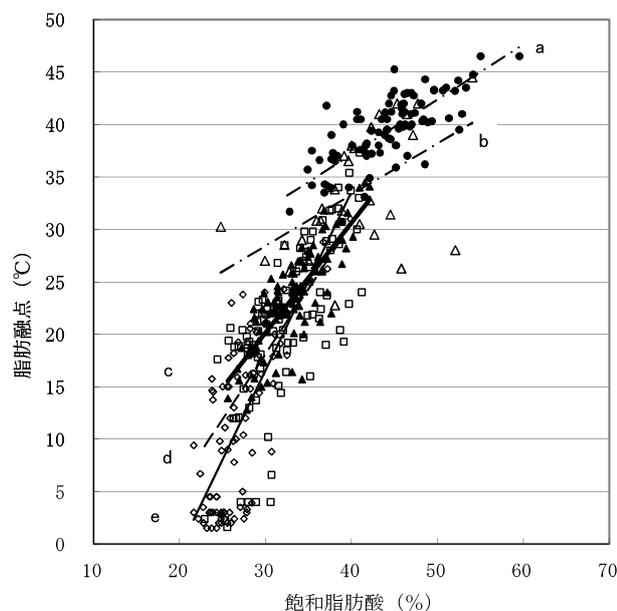


図2-1 飽和脂肪酸と融点の相関

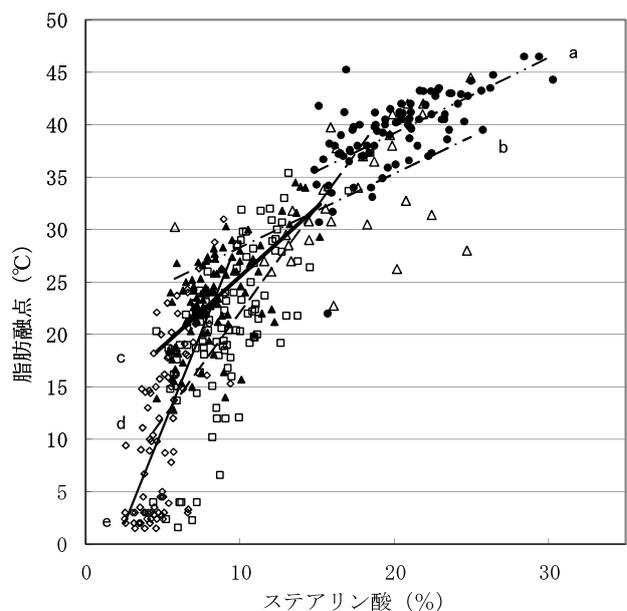


図2-2 ステアリン酸と融点の相関

図2 部位別の飽和脂肪酸割合と脂肪融点の相関

- a : 腎脂肪、●、- - - - - b : 大網脂肪、△、- - - - - c : 筋肉内脂肪、▲、———
 d : 筋間脂肪、□、- - - - - e : 皮下脂肪、◇、———

検討した。図2にSFA（図2-1）ならびにC18:0（図2-2）の割合と融点のXY相関図を示した。SFA割合は、腎脂肪（●）と大網脂肪（△）で高く、皮下脂肪（◇）で低く、筋肉内脂肪（□）と筋間脂肪（▲）は中間を示し、融点との間には、二次曲線的に正の相関がみられた。しかし、一次回帰式の傾きは部位ごとに異なり、腎脂肪（a）と大網脂肪（b）は傾きが小さく、皮下脂肪（e）では傾きが最も大きく、筋肉内脂肪（c）と筋間脂肪（d）はこの中間を示した。C18:0は、SFAとほぼ同じ相関を示した。図は省略するが、C16:0は、その割合に部位間差がみられなかったが、回帰式の傾きは同じ傾向を示した。

USFAおよびC18:1割合と融点のXY相関図（図3）では、USFA割合は部位ごとに異なり、全体として二次曲線的な負の相関を示した。また、C18:1はUSFAに比較して分散が大きく、部位ごとの回帰式は傾きが小さいものの、融点と負の相関を示し、総じてUSFAならびにC18:1が増加すると融点が低くなるという傾向を示した。しかし、皮下脂肪では相関が弱く、回帰式の傾きも小さく、融点が15℃以下の脂肪では、C18:1割合のみで融点が説明できないことが示唆された。以上のように、部位ごとに個々の脂肪酸の融点に対する寄与率が異なることを踏まえ、脂肪酸組成と融点の間の回帰式を算出した⁷⁾。

(2) 僧帽筋脂肪の調査結果

平成10年から16年までに県内全域の肥育農家213戸で生産された去勢牛969頭、雌1,656頭、計2,625頭の僧帽筋脂肪の基本的統計量を表2に示した。山形県は、雌の肥育が盛んな地域であるため雌が多く、また肥育

素牛の約80%を県外から導入しているため血統が多様で種雄牛数は148頭であった。また、BMSNo.は去勢で 7.8 ± 2.5 、雌で 7.4 ± 2.5 と全国平均よりも高かった。

脂肪の融点についてみると、去勢で $23.7 \pm 3.8^\circ\text{C}$ 、雌で $22.1 \pm 4.0^\circ\text{C}$ で、平均値の差についてt検定を行った結果、雌は去勢に比較して融点が 1.6°C 低く（ $p < 0.001$ ）、脂肪酸組成では、雌は去勢に比較してC18:1割合が1.4%、USFA割合が1.8%高かった（ $p < 0.001$ ）。これらの性差は広く知られており、著者らの結果は既報と一致していた^{3,22,33,37,38)}。

つぎに、脂肪の融点、各種の脂肪酸、SFAおよびUSFAなどの相対度数分布を検討した。融点、C18:0およびC18:1の相対度数分布を図4に示した。融点（図4-1）とC18:1（図4-3）は正規分布を示し、C18:0（図4-2）はやや右に尾を引くもののおおむね正規分布とみなすことができた。C14:0、C14:1、C16:0、C16:1、C18:2、USFAおよびSFAは図を省略するが、いずれもほぼ正規分布を示した。これまでの脂肪酸組成の研究

表2 僧帽筋の筋肉内脂肪の基本的統計量

	去勢 (n=969)		雌 (n=1,656)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
BMSNo.	$7.8 \pm 2.5^*$		$7.4 \pm 2.5^*$	
脂肪融点	$23.7 \pm 3.8^{***}$		$22.1 \pm 4.0^{***}$	
C14:0	$2.5 \pm 0.4^{***}$		$2.4 \pm 0.4^{***}$	
C14:1	1.6 ± 0.4		1.6 ± 0.5	
C16:0	$22.6 \pm 1.8^{***}$		$21.7 \pm 1.8^{***}$	
C16:1	$7.7 \pm 1.3^{***}$		$8.2 \pm 1.4^{***}$	
C18:0	$7.3 \pm 1.3^{***}$		$6.8 \pm 1.3^{***}$	
C18:1	$52.7 \pm 2.5^{***}$		$54.1 \pm 2.8^{***}$	
C18:2	2.1 ± 0.6		2.0 ± 0.5	
USFA	$64.1 \pm 4.9^{***}$		$65.9 \pm 5.1^{***}$	
SFA	$32.4 \pm 3.5^{***}$		$30.9 \pm 3.5^{***}$	

***: $p < 0.001$

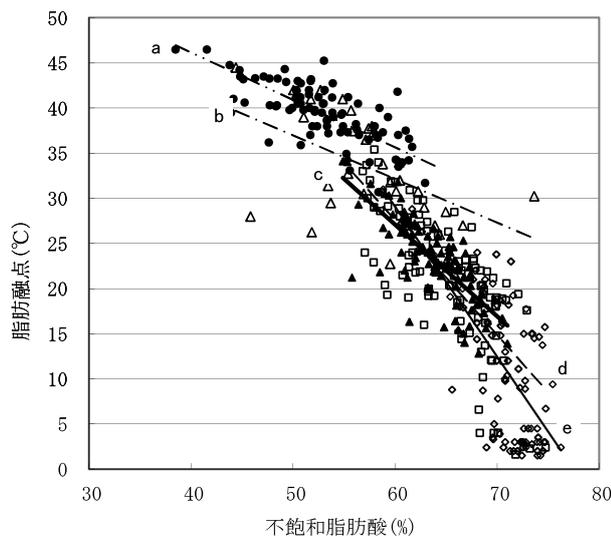


図3-1 不飽和脂肪酸と融点の相関

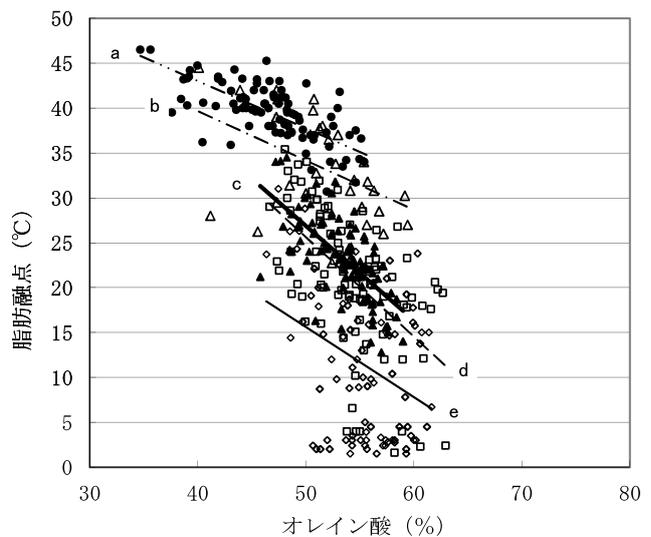


図3-2 オレイン酸と融点の相関

図3 部位別の不飽和脂肪酸と脂肪融点の相関

a: 腎脂肪、●、- - - - - b: 大網脂肪、△、- - - - - c: 筋肉内脂肪、▲、———
d: 筋間脂肪、□、- - - - - e: 皮下脂肪、◇、———

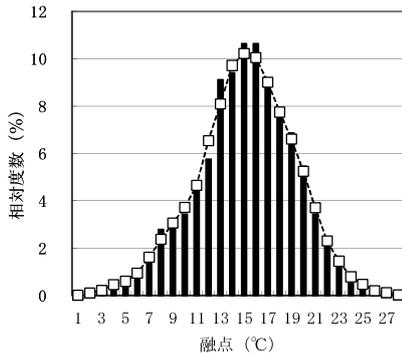


図4-1 脂肪融点の相対度数分布

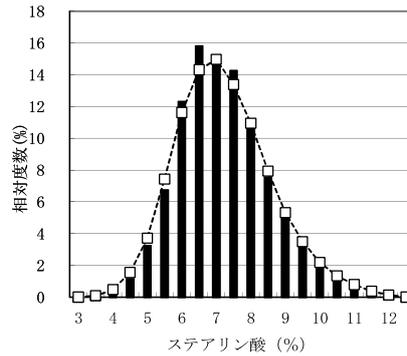


図4-2 ステアリン酸の相対度数分布

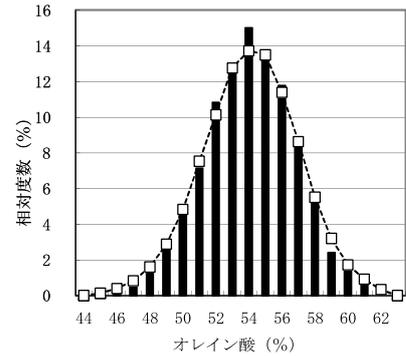


図4-3 オレイン酸の相対度数分布

図4 脂肪融点、ステアリン酸およびオレイン酸の相対度数分布 (n=2,625)

■ 相対度数(%) - - - - - 移動平均

は、正規分布することを前提として統計処理されてきたが、それが適切だったことが確認された。

また、C18:1 割合の度数分布において中央値は 54% であり、その頭数は 212 頭に及んだが、それらについて、C18:0 割合と融点の XY 相関図を図 5 に示した。脂肪融点は 14.5℃ から 29.1℃ の範囲にあり、C18:0 割合と強い正の相関 (r = 0.67) がみられ、ここでも C18:1 のみで融点が決まれないことが示された。常石³¹⁾ は、USFA が 55% 以上では、USFA 割合の上昇は脂質性状の改善につながらないと述べているが、本調査の成績はそれに符合した。また、USFA 割合が高い場合は、C18:0 の影響が強く現れることが示唆された。

融点、C18:0 および C18:1 と枝肉形質との単相関

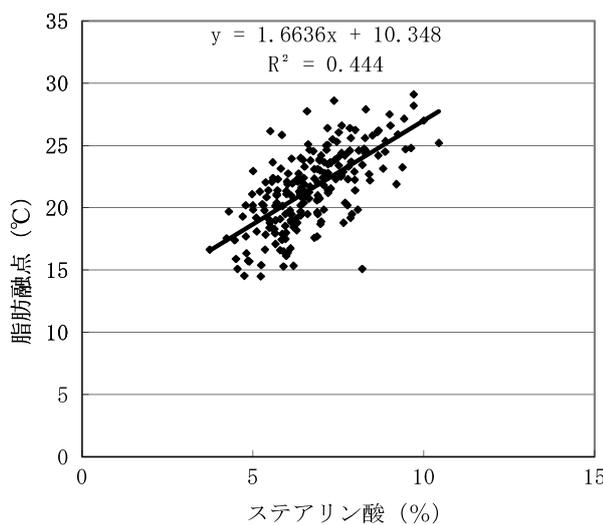


図5 オレイン酸割合54%の個体における C18:0 と脂肪融点の相関

表3 脂肪融点、C18:0 および C18:1 と枝肉形質の単相関係数 (n=2,525)

	枝肉重量	ロース芯	ばら厚	皮下脂肪	BMSNo.
脂肪融点	0.05	0.05	0.09	-0.08	0.02
C18:0	-0.04	0.04	0.06	-0.04	-0.03
C18:1	-0.14	-0.10	-0.14	0.16	-0.03

係数を表 3 に示した。融点と BMSNo. の単相関係数は 0.01 であり、他の枝肉形質とも相関は認められなかった。C18:0 および C18:1 はともに BMSNo. と相関はみられず、C18:1 とその他の枝肉形質と単相関係数はやや大きな値を示したものの、0.2 に満たなかった。

脂肪交雑と脂肪酸組成の関連については、ホルスタイン種去勢牛で肉質等級 2 以下と 3 以上に分けて脂肪酸組成を比較して C18:1 に有意差があったとする報告⁴⁾、黒毛和種で脂肪含量と C18:1 および USFA に正の相関があったとする報告²⁵⁾、MUFA 割合は体高および体重と負の相関があり肉質等級と脂肪交雑に正の相関があったとする報告³⁸⁾がある一方、黒毛和種で脂肪交雑の等級間で脂肪酸組成は一定の傾向を示さなかったとする報告¹⁴⁾、黒毛和種とホルスタイン種の F1 で BMS と粗脂肪含量の違いは脂肪酸組成に影響しないとする報告³⁾、黒毛和種で MUFA 割合と枝肉重量、ロース芯面積および BMSNo. との間の相関は非常に低い値であったとする報告¹⁹⁾があり、一定していない。調査の範囲や規模が小さい場合、品種、血統、飼料および飼育形態などの影響を受ける可能性があるが、著者らの調査は十分な規模があり、それらの要因が相殺された結果と考えられた。

脂肪融点の年度の変化 (図 6) を見ると、脂肪融点は

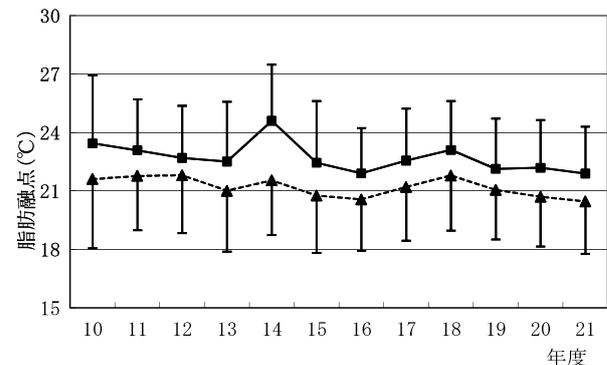


図6 僧帽筋筋肉内脂肪の融点の推移

■ 去勢 - - - ▲ 雌

平成 10 年から変動しつつもゆるやかな低下傾向を示し、平成 10 年度に去勢 $23.4 \pm 3.5^\circ\text{C}$ 、雌 $21.6 \pm 3.5^\circ\text{C}$ であったが、平成 21 年度には去勢 $21.9 \pm 2.4^\circ\text{C}$ 、雌 $20.5 \pm 2.4^\circ\text{C}$ となった。融点のバラつきの指標として変動係数（融点の標準偏差 / 平均値 $\times 100$ ）をみると、全体として小さくなる傾向が伺え、去勢でこの傾向が強かった（去勢：14.9% \rightarrow 11.0%、雌 16.4% \rightarrow 13.2%）。平成 21 年度に開催された山形県内の枝肉共進会では、以前のように極端に脂肪の硬いものやゆるすぎるものがなく、揃ってきたと評価されたが、長期的な傾向はその評価と一致していた。

僧帽筋脂肪融点の月齢に伴う変化は、表 4 に示すように、月齢の増加に伴って去勢、雌ともに融点が緩やかに低下する傾向が見られた。肥育期間の延長または月齢の増加に伴って、USFA 割合の増加や融点の低下が見られることは良く知られており、今回の調査結果はその傾

表 4 僧帽筋の筋肉内脂肪融点の月齢に伴う変化

月齢 ^{a)}	n	去勢		n	雌	
		平均 \pm 標準偏差	標準偏差		平均 \pm 標準偏差	標準偏差
28 以下	119	23.7 \pm 3.7		75	23.0 \pm 4.4	
29	164	24.2 \pm 3.8		120	22.8 \pm 3.8	
30	195	24.1 \pm 3.6		252	22.7 \pm 3.8	
31	181	23.9 \pm 3.6		366	22.3 \pm 4.0	
32	119	23.7 \pm 4.0		331	22.0 \pm 3.9	
33	88	23.1 \pm 3.4		254	21.7 \pm 4.3	
34	41	22.9 \pm 4.4		149	21.0 \pm 4.0	
35 以上	62	22.3 \pm 4.1		116	21.0 \pm 4.0	

a: とちく時の月齢で集計

向と一致した^{12,13,21,22,33)}。

3 TG の脂肪酸組成と分子種

TG は 3 分子の脂肪酸とグリセロールのエステルであり、主要な脂肪酸だけでも 10 種類を超えるので、脂肪酸分子の組み合わせ、すなわち TG の分子種は理論上 1000 種類を超える。個々の分子種は固有の融点を持ち¹⁸⁾、その混合割合で脂肪の融点が決まっている。したがって、脂肪酸組成が同じでも、分子種の混合割合が異なると、TG の物理化学的性質は大きく異なることが知られている³¹⁾。

表 5 冷アセトン沈殿法で分画した中性脂肪の融点と脂肪酸組成

主成分 ^{a)}	mp ^{d)} ($^\circ\text{C}$)	C14:0	C14:1	C15:0	C16:0	C16:1	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	C20:0	SFA	USFA	他 ^{e)}
SSS	61.2	2.6	0.0	0.4	35.4	0.0	2.0	57.5	0.6	0.0	0.4	98.2	0.6	1.2
SSM	27.0	2.8	0.7	0.3	26.8	0.6	1.1	30.8	34.8	0.0	0.0	61.7	36.0	2.2
SMM	12.7	1.4	0.8	0.3	21.5	6.6	0.8	6.1	59.9	0.3	0.0	30.0	67.6	2.4
MMM-1	-10.0	1.1	2.3	0.0	5.9	12.4	0.0	2.1	66.9	6.0	0.0	9.1	87.6	3.3
MMM-2	<-30 ^{b)}	2.3	6.4	0.4	7.2	19.5	2.7	1.1	54.1	5.4	0.0	13.6	85.4	0.9
MMD	<-10 ^{c)}	1.6	2.7	0.0	7.8	11.1	1.2	1.7	54.5	13.0	0.9	13.2	81.3	5.5

a: 飽和脂肪酸 (S)、1 価不飽和脂肪酸 (M) および 2 価不飽和脂肪酸 (D) の組み合わせ

b: -30°C の冷凍庫で固体化しない

c: -10°C では固体化しないが、 -15°C 3 日間で固体化する

d: 脂肪融点

e: その他の脂肪酸の合計

TG の分子種をすべて分離・定量することは不可能なので、従来、TG を分解しメチルエステル化して脂肪酸組成を調べ、間接的に TG の質が議論されてきた。しかし、近年、キャピラリーカラムを装着したガスクロマトグラフ装置の分析機能が向上し、普及してきたことから、直接的な情報である分子種に関する研究成果が増え、重要な知見が得られてきた^{2,5,6,31)}。

著者らは、牛肉から抽出した TG をアセトンに溶解し、低温に保持して沈殿した脂肪を分取する方法で分子種の分画を調製し、その性質を調べた⁹⁾。表 5 に示すように、SFA (S)、MUFA (M)、および 2 価 USFA (D) の組み合わせとして SSS、SSM、SMM、MMM および MMD が主体となった分画が得られた。SSS、SSM および SMM 分画の融点はそれぞれ 61.2°C 、 27.0°C および 12.7°C であった。C18:1 が主体の MMM-1 は、融点が -10.0°C であったが、C16:1 と C14:1 が多い MMM-2 は、 -30°C の冷凍庫内で 1 ヶ月以上保存しても固体化しなかった。MMD 分画は、 -15°C 一夜では固体化せず、3 日間静置すると固体化した。

MMM-1 と MMM-2 は USFA 割合がほぼ同じであるが、C14:1 と C16:1 の割合が異なることで、融点は大きく異なった。また、SMM 分画は、C18:1 割合が MMM-2 分画よりも 5% 多い (59.9% 対 54.1%) が、融点は 40°C 以上も高かった。これらは極端な例であるが、USFA 割合や C18:1 割合だけでは、TG の質を論じることができない事例である。このような現象は、TG の分子種を分析することによって、より詳細な検討が可能になろう。

TG の分子種は結晶配列の違いによって異なった融点が観測され、トリステアリンは 54、64 および 73.1°C 、トリパルミチンは 44、55.5 および 65.5°C 、C16・C18・C18 は 50、57、61 および 65°C という融点をもつが¹⁸⁾、SSS 分画はこれらの混合物として妥当な融点であった。これに対し、トリオレインは、 -32 、 -12 、および 4.9°C の融点を持つが、MMM-2 分画は C16:1 と C14:2 が混入しており、 -30°C で固体化しなかったことは妥当なものと考えられた。脂肪分子種の食感に関しては、

飽和 TG は口腔内で融解しないため、ざらざらした粉っぽい食感をもたらす⁹⁾ことが報告されている。著者らはまた、調製用薄層クロマトグラフィーと酸化法によって、牛の筋肉の飽和 TG を調べた²⁸⁾。その結果、飽和 TG は、SFA 割合が 25% を超えると出現して、二次曲線的に増加し、融点とも正の関係が認められた。回帰式からは、飽和 TG が 1% から 2% に増加すると融点が約 3°C、2% から 3% に増加すると約 2.5°C 上昇することになるが、これは抽出した筋肉内脂肪に飽和 TG を添加した場合に、飽和 TG 1% につき約 2.5°C 上昇するという実験結果とほぼ一致した⁹⁾。

常石³¹⁾は、USFA が増加すると飽和 TG が 2 次曲線的に減少するが、USFA が 55% を超えても 7% 程度は存在するとしているが、著者らの成績はそれよりも SFA 割合が低い和牛肉においても、SFA が融点上昇に影響することを示した。

4 PL および FFA

PL は、脂質膜の構成要素であり、牛肉中では TG、コレステロールについて多い。PL は、グリセロールと 2 分子の脂肪酸およびリン酸を基本構造としており、牛肉の PL の大半はレシチンとセファリンで占められ、少量のリゾレシチン、スフィンゴシンなどが含まれる。PL の構成脂肪酸としては、C20 以上の高度 USFA が多く含まれ、食味との関連では、アミノ基を有する PL は焼いたときにアミノカルボニル反応を起こして焼肉香気に変わることに加えて、貯蔵中の酸化分解によって悪臭物質へ変化する可能性が示唆されている^{15,34)}。一方、FFA は TG や PL よりも酸化されやすいことが報告さ

表 6 肩ロース肉の中性脂肪、遊離脂肪酸、レシチンおよびセファリンの脂肪酸組成 (n=14)

	中性脂肪	遊離脂肪酸	レシチン	セファリン
C12	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
C14:0	2.0 ± 0.4	0.8 ± 0.2	0.3 ± 0.5	0.1 ± 0.2
C14:1	1.6 ± 0.2	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.4	0.1 ± 0.1
C15:0	0.3 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
C16:0	19.4 ± 1.9	12.1 ± 1.5	19.1 ± 2.5	3.1 ± 1.7
C16:1	8.2 ± 1.1	5.2 ± 1.1	2.5 ± 2.1	1.7 ± 0.7
C17:0	1.2 ± 0.3	1.0 ± 0.2	0.9 ± 0.2	0.3 ± 0.1
C18:0	5.6 ± 1.1	7.3 ± 1.5	4.0 ± 0.5	15.9 ± 1.4
C18:1	57.7 ± 2.2	60.4 ± 4.0	28.2 ± 4.3	19.5 ± 2.4
C18:2	2.1 ± 0.5	6.0 ± 2.2	28.3 ± 4.8	18.5 ± 2.1
C18:3	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1
未同定 1	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.8	0.3 ± 0.2	0.0 ± 0.0
未同定 2	0.7 ± 0.1	0.9 ± 0.5	3.0 ± 0.6	4.3 ± 0.9
C20:5	0.0 ± 0.0	1.1 ± 1.0	9.9 ± 1.8	28.6 ± 2.5
未同定 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1
未同定 4	0.0 ± 0.0	1.9 ± 0.9	1.3 ± 0.3	3.9 ± 0.8
C22:6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.1 ± 0.2	2.8 ± 0.4

れている³⁴⁾。

PL の構成割合と脂肪酸組成は、飼料の種類と摂取量によって変化し、配合飼料給与でセファリンが減少し、レシチンが増加すること^{15,32)}、牧草に多い C18:3 などの ω -3 系列の脂肪酸は放牧育成牛に多く、穀類に多い C18:2 などの ω -6 系列の脂肪酸は配合飼料給与牛で多いこと^{29,30)}などが報告されている。

PL 全体の脂肪酸組成では、PUFA の割合は筋肉ごとにより異なり、咬筋で最も多く、胸最長筋や僧帽筋で少なく、この差は運動量に関連すること^{15,29)}、および PL の脂肪酸組成は性によっても異なることが報告されている³⁸⁾。しかし、PL の種類ごとの脂肪酸組成については報告が見当たらない。

著者らは、黒毛和種の肩ロース肉から抽出した粗脂質から固相抽出法により TG、FFA、レシチンおよびセファリンを精製し、その脂肪酸組成を調べた (表 6)。本実験では、GC-MS 分析を行わなかったため、C20 以上の脂肪酸は C20:5 と C22:6 以外は未同定のピークと表現した。レシチンとセファリンの脂肪酸組成は大きく異なり、レシチンでは C18:1、C18:2 および C16:0 が多く、セファリンでは C20:5 が最も多く、C18:0、C18:1 および C18:2 がそれについて多かった。

TG と FFA の組成は各 PL の組成と異なり、TG には C20 以上の脂肪酸がほとんど含まれないのに対し、FFA には C18:2 と C20 以上の脂肪酸が TG よりも多く含まれた。TG に C20 以上の脂肪酸がほとんど含まなかったことは中西¹⁶⁾の報告と一致し、FFA で C18:1 および C18:2 が TG より多かったことは Yoshimura らの報告³⁷⁾に一致した。このことから、FFA に含まれる C20 以上の脂肪酸は、TG に関連せず、PL の基質もしくはその分解産物として食肉中に存在するものと考えられた。急速な細胞増殖時には脂質膜が多量に必要となるが、PUFA が少ないためにいったん原始的な PL が形成され、あとで PUFA が入れ替わる (PL のリモデリング) と考えられている²⁷⁾が、FFA と各 PL の高度 USFA 割合が異なることは、リモデリングの考え方と符合していた。

まとめ

脂肪の質は、牛肉の食感と美味しさに大きな影響を与え、黒毛和種牛肉の大きな特徴となっている。脂肪交雑のレベルが全体として向上したこともあり、より美味しい牛肉生産を目指す生産者の間で、脂肪の質は注目を集めている。脂肪の質とは、脂肪が持つ軟らかさ、滑らかさ、ねばり、味、香りなどの特徴を総合的に評価したものであり、主要な成分との関連では、TG は食感に大き

な影響を与え、FFA は味と香りに、PL は香りに関与するものと考えられている。

近年、脂肪の質を軟らかさ、融点の低さおよび C18 : 1 割合に限定し、間接的な情報にすぎない脂肪酸組成、とりわけ C18 : 1 割合のみで牛肉の美味しさを議論する傾向があるが、これは早計と言わざるを得ない。そのような主張は、これまで脂肪の質を向上させようと努力してきた生産者の意にそぐわないだけでなく、消費者に不正確な商品情報を提供することになりかねない。

脂肪の質は、和牛肉の食味向上にとって重要な課題であるので、具体的なデータに基づいた、多面的な議論が求められている。

引用文献

- 1) 秋田恭世・川口辰也・金子文俊・山室 修・秋田弘幸・尾能満智子・鈴木正夫. トリステアリンの結晶多型現象；構造と運動性の相関. 日本結晶成長学会誌, 30 : 27. 2003.
- 2) 本間精一. 脂質組成による和牛肉の品質評価. 食肉に関する助成研究調査成果報告書, Vol.11:166-171. 1993.
- 3) 井上慶一・平原さつき・撫 年浩・藤田和久・山内健治. 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. 2002.
- 4) 伊藤 良・有原圭三・近藤 洋. ホルスタイン種去勢牛の枝肉格付けにおける肉質評価と筋肉脂質の脂肪酸組成との関連性. 日本畜産学会報, 65 (4) : 368-375. 1995.
- 5) Itoh M, Arihara K, Kondo Y. Molecular species of intramuscular triacylglycerols of beef. Anim. Sci. Technol. (Japan). 68 (8) : 756-759. 1997.
- 6) 伊藤 良. 食肉脂肪の科学. 東北畜産学会報, 57(3) : 31 - 40. 2010.
- 7) 菅 和寛・小林正人・今田哲雄. 採取部位別の体脂肪融点に対する脂肪酸組成の影響. 山形県畜産研究報告, 1:10-14. 2003.
- 8) 小林正人・阿部正博・石山 徹・奥山雄治・奥山祐輔・安彦重直. 山形牛の脂肪の質. 山形県畜産研究報告, 1 : 1 - 9. 2003.
- 9) 小林正人・庄司則章. 黒毛和種体脂肪の中性脂肪分子種分画の化学的性質と食味. 日本畜産学会報, 77(4) : 521 - 527. 2006.
- 10) Melton S, Amiri M, Davis GW and Backus WR. Flavor and chemical characteristics of ground beef from grass, forage, grain, finished steers. J. Anim. Sci., 55 : 77-87. 1982.
- 11) Melton SL. Effects of feeds on flavor of red meat : a review. J. Anim. Sci., 68 : 4421-4435. 1990.
- 12) 三橋忠由・北村 豊・三津本 充・山下良弘・小沢 忍. 黒毛和種去勢牛の脂肪組織における脂肪酸組成ならびに色調に及ぼす給与飼料の影響. 中国農研報, 3 : 71-79. 1988.
- 13) 三橋忠由・三津本 充・山下良弘・小沢 忍. 黒毛和種去勢牛の発育に伴う蓄積脂肪の融点と脂肪酸組成の変化. 中国農研報, 2 : 43-51. 1988.
- 14) 中井博康・池田敏雄・安藤四郎・小堤恭平・田村久子・荒牧秀俊. 市場牛肉質性状の実態調査. 農林水産省畜産試験場年報, 25 : 151-162. 1987.
- 15) 中西武雄. 須山亨三. 食肉の燐脂質に関する研究 I 各種家畜の筋肉の燐脂質組成. 日本畜産学会報, 37 (1) : 7-14. 1966.
- 16) 中西武雄・須山亨三. 食肉の燐脂質に関する研究 II 肥育を特に行わない牛および肥育牛の筋肉の各種脂質の脂肪酸組成. 日本畜産学会報, 37 (10) : 375-381. 1966.
- 17) 並河 澄. 肉用牛の育成と肥育(9). 畜産の研究, 27 (5) : 699-703. 1973.
- 18) 日本生化学会編. 生化学データブック I . トリアシルグリセロールの融点と屈折率. 日本東京化学同人. p828. 1979.
- 19) 野儀拓哉. 鳥取和牛肉の脂肪酸組成割合に与える要因について (第1報). 鳥取県畜産試験場研究報告, 34 : 11-14. 2006.
- 20) 野儀卓哉・岡垣敏生. 同一個体内における筋肉内脂肪および蓄積脂肪の脂肪酸組成割合の関係. 鳥取畜試研究報告, 35 : 8 - 13. 2007.
- 21) 岡 章生・岩本史之・道後泰治. 肥育中期以降の粗飼料給与レベルが但馬牛去勢牛の増体と肉質に及ぼす影響. 兵庫農技研報 (畜産), 37 : 14-19. 2001.
- 22) 岡 章生・岩本史之・道後泰治・太田垣進. 但馬牛の胸最長筋内脂肪の脂肪酸組成. 兵庫農技研報 (畜産), 38 : 17-23. 2002.
- 23) Oka A, Dohgo T, Ohtagaki M, Noda M, Shiozaki T, Endoh O, Ozaki M. Genetic effects on fatty acid composition of carcass fat of Japanese Black Wagyu. J. Anim. Sci., 80 : 1005-1011. 2002.
- 24) Ozutsumi K, Kawanishi T, Ito K, Yamazaki T. Fatty acid composition in various depot fats of fattened Japanese Black and Holstein steers. Jpn. J. Zootech. Sci., 54 : 470 : 475. 1983.

- 25) 小堤恭平・安藤四郎・池田敏雄・中井博康・千国幸一. 市場牛肉の格付け等級と理化学特性について. 日本畜産学会報, 56 (1) : 1-6. 1985.
- 26) 佐藤文明・河村 正・佐久間弘典. 牛肉の食味評価を取り入れた肉用牛育種改良手法の検討. 独立行政法人 家畜改良センター 平成 19 年度試験成績報告書, 37 : 1-10. 2008.
- 27) 清水孝雄. 脂質生物学の新しい展開. 脂質生物学がわかる. 羊土社, pp14-25. 2004.
- 28) 庄司則章・小林正人. 牛筋肉脂肪に及ぼす飽和中性脂肪の影響. 食肉の科学, 46 (1) : 136-139. 2005.
- 29) 常石英作・滝本勇治・西村宏一・武田尚人. 肥育牛の各種筋肉のトリアシルグリセロールとリン脂質の脂肪酸組成. 日本畜産学会報, 58 (11) : 919-926. 1987.
- 30) 常石英作・西村宏一・滝本雄治. 放牧後の濃厚飼料多給仕上げ肥育による牛脂肪の脂肪酸組成の変化. 日本畜産学会報, 60 (4) : 315-320. 1989.
- 31) 常石英作・渡辺 彰・滝本勇治. 牛体脂肪の脂肪酸組成とトリアシルグリセロール分子種の関連. 日本畜産学会報, 65(2) : 128-134. 1994.
- 32) 常石英作・渡辺 彰・滝本勇治. 牛筋肉中の脂質組成および脂肪酸組成に及ぼす飼養条件の影響. 肉用牛研究会報, 54 : 55-59. 1992.
- 33) Waldman RC, Suess GG, Brungardt VH. Fatty acids of certain bovine tissue and their association with growth, carcass and palatability traits. J. Anim. Sci., 27 : 632-635. 1968.
- 34) 渡辺乾二・佐藤 泰. 肉の風味. 日本畜産学会報, 45 (3) : 113-128. 1974.
- 35) Westerling DB and Hedrick HB. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. J. Anim. Sci., 48 : 1343-1348. 1979.
- 36) 山口静子. 牛肉の美味しさと消費者嗜好. 食肉の科学, 43 (2) : 131-139. 2002.
- 37) Yoshimura T, Namikawa K. Influence of breed, sex and anatomical location on lipid and fatty acid composition of intermuscular fat. Jpn. J. Zootech. Sci. 56 (2) 122-129. 1985.
- 38) Zembayashi M, Nishimura K, Lunt DK, Smith SB. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. J. Anim. Sci. 73 : 3325-3332. 1995.