

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 20 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580392

研究課題名(和文)新システム画像解析法による食肉物性評価技術の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation for meat physical characteristics by the new image analysis methods

研究代表者

入江 正和 (IRIE, Masakazu)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：30333438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：肉質において脂肪交雑、きめ、やわらかさは枝肉格付や食味に関わる重要な要因である。先端で独創的なマイクロスコブ法、可視・紫外線蛍光画像解析法を肉質評価のため開発させた。マイクロスコブ法による肉のきめの評価は、品種や系統などの肉の特性を明らかにする効果的な方法であった。脂肪交雑の評価では可視画像解析法は豚肉に、紫外線蛍光画像解析法は牛肉にそれぞれ有効であった。画像解析値と化学的測定値から、肉のきめや結合組織、やわらかさは遺伝だけでなく、飼養管理の影響があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Marbling, texture and tenderness in meat quality are important factors related to the carcass grading and taste. Our original advanced methods of Microscope and visible-ultraviolet fluorescence image analysis have been developed for meat evaluation. Texture evaluation for pork and beef by Microscope method was an effective way to clarify the meat characteristics such as breeds and strains. Visible and fluorescence image analysis methods were effective for marbling of pork and beef, respectively. It is suggested that texture and connective tissue data obtained by image and chemical analysis were affected by feeding management as well as heredity.

研究分野：畜産

キーワード：畜産物 牛肉 豚肉 光学評価 画像解析 肉質

1. 研究開始当初の背景

わが国において食肉は、見栄えやおいしさなどの品質が特に重視されている。品質が良く、安全でおいしい国産食肉は、消費者に満足を与えるだけでなく、輸入肉と厳しい競争関係にある国産肉の生産関連業界や流通業界、さらには食料の安全保障にとっても大変重要である。

現在、食肉の品質、特に食味の良さを追求する研究が重要となっている中、品質をどのように科学的に評価するのか、何が品質を構成する要因となっているのか、さらにそれら品質をどのようにすれば向上させることができるのかといった研究が大切である。

肉の食味の一要因として重要である脂肪交雑やきめにおいて、簡易かつ正確な評価法が必要であり、科学的なデータが出せれば、それらに影響する諸要因を調べることもできることになる。

2. 研究の目的

前述したように、食肉の品質において脂肪交雑やきめは、流通価格に影響する枝肉格付や、やわらかさや舌触りなどの食味に関わる重要な要因である。現在の方法は人が目で見て評価する方法が中心であり、客観性に問題がある。また実験室で分析する方法もあるが、試料肉を入手しなければならず、時間と手間、経費がかかるため実際の商品に適用できないという欠点がある。

もし、これらを迅速かつ非破壊的に客観的流通ラインで評価ができれば、流通段階での価値判断や消費へのPRができるだけでなく、生産へフィードバックすることにより、遺伝や飼養管理の影響を検討でき、それら要因制御によって、実際の肉質向上も可能となる。

本研究は、わが国の先端的な光工学技術を応用したマイクロ스코プ、可視・紫外線蛍光の画像解析法を、特に脂肪交雑の高い牛肉と豚肉に応用して、肉の物性を各面から評価しようというものである。また、それら形質に及ぼす諸要因についても検討した。

3. 研究の方法

(1) 供試試料

試料としては、品種の異なる豚肉 (LWD、バークシャーなど) と、品種の異なる牛肉 (黒毛和種、日本短角種、輸入牛肉)、さらには黒毛和種では異なる系統 (増体系と資質系)、各種解剖学的に異なる部位の牛肉 (僧帽筋、半膜様筋、半腱様筋、胸最長筋、大腰筋、上腕頭筋) など多数のサンプルを用いた。

(2) マイクロSCOPE画像解析法

きめは、流通での評価である枝肉格付の肉質項目の一つであり、きめが粗いものは低い評価となり、きめの細かいものは高い評価となる。きめの細かいものは見栄えが良いだけでなく、舌触りが良く、多汁性が高く食味がすぐれる傾向にあるという特徴がある。



図1 マイクロSCOPE装置
(キーエンス社製)

そこで、本研究では先端的光学器機であるマイクロSCOPE (図1) を著者の考案した方法を用い、各種牛肉と豚肉のきめ (ここでは第一次筋束の大きさ) 等の特性評価に応用した。

マイクロSCOPEの操作では、生肉試料に対し、オートフォーカスで焦点を合わせ、ハイダイナミックレンジで画像処理を行った。その後、汎用画像解析ソフトで第一次筋束の面積、長径、短径などの画像計測を行った。また、マイクロSCOPE法を脂肪組織の観察にも適用した。

(3) 可視・紫外線蛍光画像解析法

① 豚肉の脂肪交雑の画像解析法

牛肉では脂肪交雑の画像解析法が進んでいるが、豚肉ではあまり進んでおらず、これは、赤肉と筋肉脂肪の色調変化の乏しい豚肉では適用が難しいこと、豚肉では脂肪交雑が重要視されてこなかったことにある。しかし、近年、豚肉でも脂肪交雑が食味に強く影響することから、豚肉においても脂肪交雑の評価と向上が重要となってきた。そこで、汎用機器 (普通のスキャナー)、汎用ソフト (Image Pro) の可視画像解析法の工夫によって豚肉の脂肪交雑を評価した。

② 紫外線蛍光システム

牛肉や豚肉の脂肪交雑や結合組織を評価するため、いくつかの紫外線蛍光システムを検討した。基本としては254、352nmの紫外線ランプの付いた紫外線蛍光ボックス (液クロサイエンス社製) に、微弱光が撮影可能な一眼レフカメラ (キャノン社製) を利用した。また、(株) 島津製作所との共同開発の紫外線LED撮影装置、(株) 相馬光学が肉用に改良した紫外線分光光度計 (島津製作所製) などを利用した。

(4) 筋肉内脂肪と結合組織成分に影響する各種要因の検討

脂肪交雑に関係する一般成分 (水分、粗タンパク質、粗脂肪、粗灰分) や結合組織成分 (全、可溶性、不溶性、可溶性/不溶性の各コラーゲン含量) を測定し、画像解析値との関係を調べ、さらにそれら成分に及ぼす諸要因も検討した。



図2 マイクロスコープ画像解析法によるきめ（第一次筋束）の粗い牛肉と細かい牛肉

4. 研究成果

(1) マイクロスコープ法による評価

①牛肉のきめ

様々な牛肉から得られた筋束の面積などを画像解析で測定したところ、興味深い、かつ実用的に役立つ知見が得られた。図2に、きめの粗い（筋束が太い）牛肉と、細かい牛肉の例を示した。組織学的方法（凍結切片によるHE染色）と比較した所、マイクロスコープ法は非破壊、迅速、容易な観察、低労力、安価な測定経費等の長所があった。

図3に牛肉の筋束面積における品種、系統間の差異を示した。A県産とB県産の黒毛和種は増体系と呼ばれ、発育が良いが、いずれもきめはC県産の肉質系統や日本短角種、輸入肉、経産牛と比べて筋束は大きかった。

以上から、和牛肉は輸入肉と比べるときめが細かいと思われていたが、肉質系と呼ばれる黒毛和種や、赤身で有名な日本短角種はきめが細かいことが特徴であったが、増体系ではきめは細くならなかった。また、同一の黒毛和種でも経産牛はきめが細かかった。

この理由として、増体系黒毛は筋束が大きいのは品種差というより出荷月齢とそれに伴う体重が影響している可能性がある。つまり、和牛が通常、月齢2年半前後、体重700kg以上で出荷されるのに対し、海外では発育効率のよい1年半前後、600kg前後で出荷される。つまり、この体格差、ひいては筋肉の面積の差が反映されたのではと思われる。

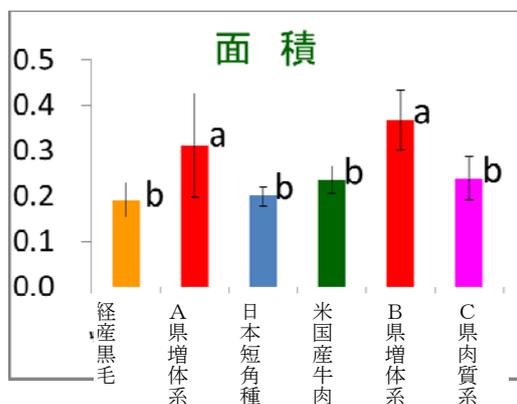


図3. マイクロスコープ画像解析法による牛肉の筋束面積における品種、系統間の比較

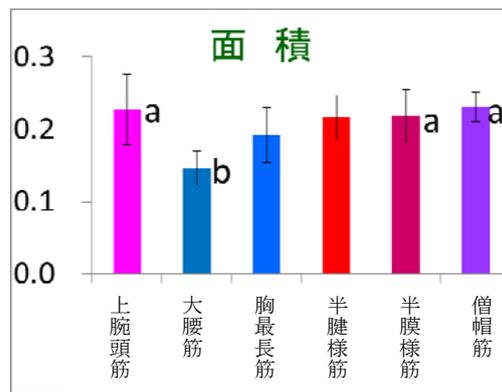


図4. マイクロスコープ画像解析法による牛肉の筋束面積における各種部位間の比較

さらに筋肉部位間を比較したところ、筋肉部位により筋束の大きさが異なっていた（図4）。特に大腰筋（ヒレ）は筋束が細かく、これがやわらかさや食味の良さを構成する一要因であると思われた。

以上から、きめは遺伝的な影響を受けるだけでなく、筋肉部位や飼養管理の影響を受けることがわかった。遺伝的原因としては、黒毛和種は、特に増体系で肉量増大のためロース芯面積を中心として筋肉を肥大させる方向に改良が進んだ。生後、筋繊維数は変化しないため、筋繊維が太くなり、それにつれて筋束面積も増大したと思われる。一方、肉質系のものは発育が遅く、体格も増体系に比べると小柄であるが、その分、きめが細かく、食味がすぐれるという以前からの特徴を保持したと思われる。

一方、同様の増体系黒毛和種の経産牛では、きめが細くなっている。この理由は、経産牛のロース芯面積が小さかったことから、分娩、子育ての過程で栄養をとられ、筋繊維が細くなったためと考えられる。結局、きめは栄養制御による影響を受けるといえる。

②豚肉のきめ

品種間比較では、LWD に比べ、パークシャー種（黒豚）や中ヨークシャーできめが細かった。この結果は、上述した牛肉の結果と類似しており、パークシャー種、中ヨークシャーは中型で、LWD（大型）との体格差や筋肉の太さに起因するものと考えられた。

なお、黒豚肉は一般的な豚肉（LWD 交雑種）に比べて、脂肪交雑が乏しい、いわゆる赤身であるが、歯ごたえと多汁性がある、おいしいと言われる。なぜかについてはあまり研究が進んでいなかったが、肉のきめが細かいという所に主に起因していると考えられた。つまり、肉のきめが細かいと舌触りがよいだけでなく、細かい組織間に肉汁をうまく保持し、多汁性に富むことになる。この結果は、近年、大型種のパークシャーを導入し、食味が低下したという事実からも裏付けられる。

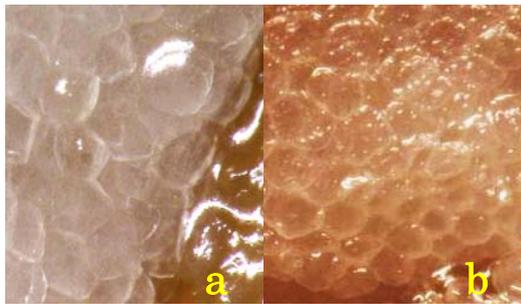


図5. 牛肉(a)と豚肉(b)の皮下脂肪組織におけるマイクロSCOPE画像



図6. 脂肪交雑のある豚肉における画像解析(赤色が脂肪交雑のある部分)

③脂肪組織の評価

図5は牛肉と豚肉の筋肉周辺の皮下脂肪組織を観察したものである。マイクロSCOPEは立体観察にすぐれ、脂肪組織の観察にも威力を発揮し、細胞1つ1つの形状を把握することができた。

(2) 可視・紫外線蛍光の画像解析法

①豚肉の脂肪交雑の可視画像解析法

汎用スキャナーによる可視光画像と汎用画像解析ソフトにより脂肪交雑を評価した画像を図6に示した。専用装置でなくても十分な解析画像を得ることができた。

化学的に測定した豚肉中の粗脂肪含量と画像解析面積比の関係は次の様であった。

$$Y(\text{粗脂肪}\%) = 27.26 \times (\text{面積比}) - 1.20$$

(n=50, r=0.74)

$$Y(\text{脂肪交雑}) = 15.91 \times (\text{面積比}) + 0.58$$

(n=50, r=0.71)

これらの値は、染色法によって測定した粗脂肪含量に勝る結果となった。したがって、汎用備品や市販ソフトを用いても簡易に豚肉の筋肉内脂肪含量や脂肪交雑画像解析法によって評価できることがわかった。

②牛肉の脂肪交雑の紫外線蛍光・画像解析

紫外線蛍光システムについては、紫外線の励起波長により肉の蛍光画像に差が見られ、254nmでは蛍光が弱く、352nmで脂肪交雑における良好な画像が得られた(図7)。特に、可視画像で筋肉の変色や表面乱反射がある場合、脂肪交雑の画像解析(二値化)が難しくなるケースがあるが、紫外線蛍光の場合はそのようなことがなく、脂肪交雑が明瞭に観察された。紫外線蛍光法は脂肪交雑の画像解析評価に有効に利用できるであろう。

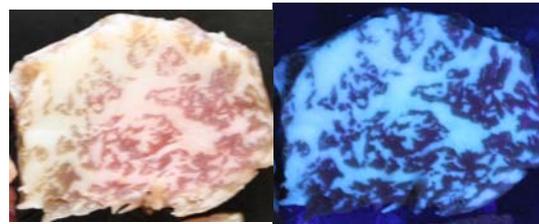


図7. 変色牛肉の脂肪交雑の可視画像(左)と紫外線蛍光画像(右)

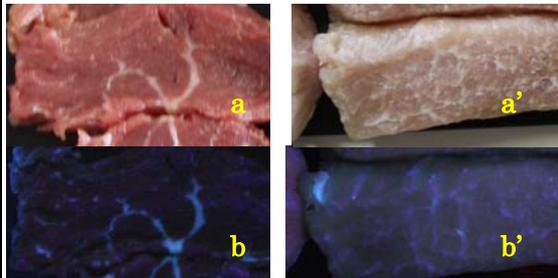


図8. 牛肉(左)と豚肉(右)の可視画像(a, a')と紫外線蛍光画像(b, b')

③結合組織の紫外線蛍光

図8に結合組織の多い筋肉の紫外線蛍光画像(紫外線波長 352nm)例を示した。豚肉、牛肉いずれにおいても結合組織の塊がある部分は比較的強く蛍光した。しかし、他にも脂肪交雑の蛍光もあるため、可視画像よりは両者の判別は容易ではあるものの、本条件の紫外線蛍光法では、両者をしっかりと区別することは困難であった。

なお、蛍光はサンプルへの紫外線の当て方によって変化するため、それに対応するように改良した分光蛍光光度計を用いて検討した結果、蛍光は得られたものの、むしろ粗脂肪含量との関係の方が高く、結合組織(各種コラーゲン)含量と高い相関を見出せなかった。

今後は、紫外線光源の選択、特定波長の光の選択などを導入して、システムを組むことが課題であろう。

(3) 筋肉内脂肪と結合組織成分に影響する各種要因

図9に和牛肉各部位における結合組織含量を示した。全コラーゲンでは硬い肉である上腕頭筋が他部位より高い値を示し、可溶性/不溶性コラーゲン比率では、やわらかな大腰筋が他部位よりも高い傾向にあった。

これらのことは、結合組織は量だけでなく、質が食肉の物性に及ぼす影響が大きいことを意味している。すなわち、画像解析法や光ファイバ法などの光学的方法で結合組織を評価するのであれば、同時に結合組織の質の評価も重要であることを意味している。

次に、分析値相互の関係を表1に示した。特に不溶性コラーゲン含量は水分含量との間に正の相関(r=0.47)、粗脂肪(筋肉内脂肪含量)とは負の相関(r=-0.43)があった。さらに、不溶性コラーゲン含量と粗脂肪含量との間には-0.43という負の相関があった。

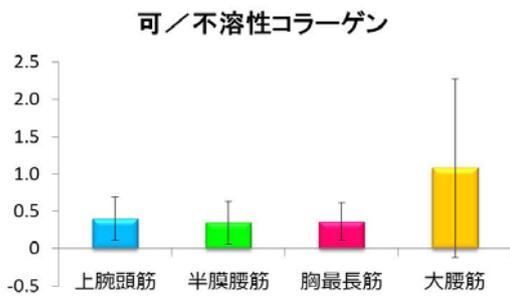
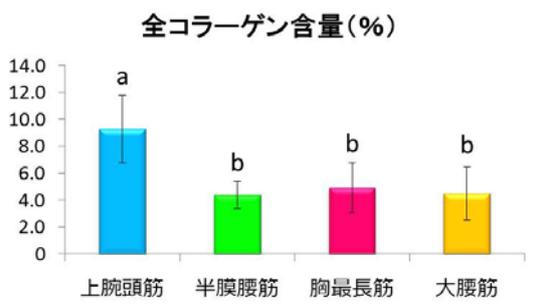


図9. 和牛肉の筋肉各部位における結合組織含量

表1 牛筋肉成分相互の関係

	粗脂肪	粗灰分	粗タンパク	全コラーゲン	可溶性	不溶性	可/不溶性
水分	-0.99**	0.81**	0.85**	0.40*	0.02	0.47**	-0.25
粗脂肪		-0.84**	-0.90**	-0.35	0.02	-0.43*	0.24
粗灰分			0.82*	0.02	-0.22	0.12	-0.26
粗タンパク				0.20	-0.15	0.30	-0.20
全コラーゲン					0.61**	0.94**	-0.14
可溶性						0.29	0.55**
不溶性							-0.42*

以上のことから、和牛においては、個体間あるいは筋肉部位によって、各種コラーゲンの量と質が異なることが示された。そして、不溶性コラーゲンを減少させる改良は、さらに脂肪交雑をあげる方向に結びつく可能性もあった。このことは将来の和牛の改良に頭に入れておくべき大切なことである。

次に、本試験の一部として利用された豚肉の全コラーゲン含量と可溶性/不溶性コラーゲンの比率を図10に示した。各区は給与飼料の違いである。全コラーゲンでは区による影響はあまりなく、可溶性/不溶性コラーゲン比率では、区によって2倍近い変化があった。つまり、豚の場合、給与飼料によって結合組織、特に質が変化することがわかった。

表2に豚肉における各種成分の関係を示した。豚肉の場合、各種コラーゲン含量は粗脂肪含量と独立した指標であることがわかった。また、やわらかさと関連の深い剪断力値との関係から、豚肉においては、やわらかさを向上させるためにはコラーゲンよりも脂肪交雑である筋肉内脂肪を増やす方がよいことが示唆された。

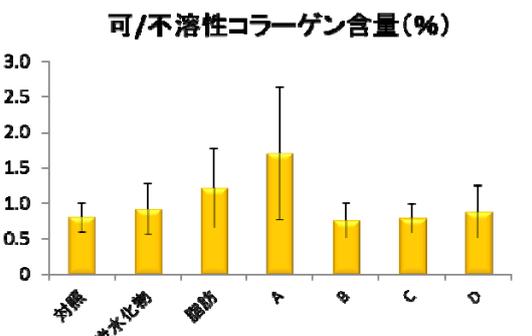
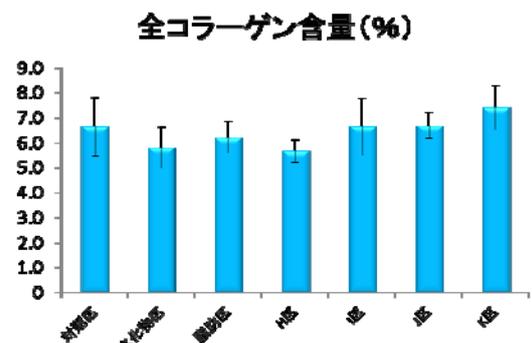


図10. 豚肉の結合組織含量に及ぼす給与飼料の影響

表2 豚筋肉成分相互の関係

	粗脂肪	粗タンパク	粗灰分	全コラーゲン	可溶性	不溶性	可/不溶性	剪断力値
水分	-0.93**	0.36*	0.41**	0.04	-0.03	0.06	0.04	0.35*
粗脂肪		-0.65**	-0.62**	0.06	0.06	0.02	-0.03	-0.37**
粗タンパク			0.78**	-0.13	-0.10	-0.06	-0.10	0.24
粗灰分				-0.15	-0.11	-0.08	-0.05	0.17
全コラーゲン					0.46**	0.75**	-0.23	0.08
可溶性						-0.24	0.65**	0.03
不溶性							-0.74**	0.06
可/不溶性								-0.02

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

①入江正和・米田陽俊、マイクロスコープ法による牛肉のきめの評価値に及ぼす諸要因、日本畜産学会第119回大会、2015年3月29日、宇都宮大学(栃木県)

②入江正和・綱島優子・細川遥果、牛肉と豚肉のコラーゲンの量と質に及ぼす諸要因、2015年3月29日、宇都宮大学(栃木県)

③西本 剛、入江正和、マイクロスコープ法による牛肉のきめの評価法、日本畜産学会第116回大会、2013年3月30日、安田女子大学(広島県)。

〔図書〕(計1件)

①入江正和・木村信熙(肉用牛研究会刊行)、養賢堂、肉用牛の科学、2015、399頁。

6. 研究組織

(1)研究代表者

入江 正和(IRIE, Masakazu)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：30333438