

平成22年 5月28日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19380143  
 研究課題名（和文） 肉牛資源の戦略的価値形成のための非破壊牛肉品質評価システムの開発  
 研究課題名（英文） Development of nondestructive meat quality evaluation system for creating strategic value of beef cattle

研究代表者  
 豊田 淨彦（TOYODA KIYOHICO）  
 神戸大学・大学院農学研究科・教授  
 研究者番号：30144603

研究成果の概要（和文）：黒毛和牛牛肉の食味の優位性を示す脂肪酸構成を解析し、そのATR-FTIRによる非破壊測定法を開発した。主要構成脂肪酸はオレイン酸（含有率45～48%）、パルミチン酸（24～28%）であり、風味向上の効果のあるオレイン酸量は皮下脂肪＞筋間脂肪＞筋内脂肪の順となることを明らかにした。抽出脂肪については、一価不飽和脂肪酸量の精度良い測定がATR-FTIRにより可能であり、牛肉品質評価へのATR-FTIRの有用性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Fatty acid compositions of black Wagyu beef which indicate the superiority in taste, was investigated in this study and, a non-destructive measurement method to determine the compositions of fatty acids was developed by using ATR-FTIR spectroscopy. The major fatty acid components of the fat were found to be oleic acid (18:1) and palmitic acid (16:0) of which contents ranged from 45 to 48% and 24 to 28%, respectively. Oleic acid providing good flavor became larger in the order of intra-muscular, inter-muscular and subcutaneous fats. The ATR-FTIR method could accurately predict the content of mono-unsaturated fatty acid of the extracted fat, which demonstrated the effectiveness of ATR-FTIR spectroscopy for the quality evaluation of beef.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：ポストハーベスト工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：脂肪酸組成、

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 国内の肉牛生産では、価格の安い輸入牛肉に対抗するため、高品質化による差別化が

図られてきたが、最近では、和牛の遺伝資源を導入した品質の高い輸入牛肉も見られ、新たな国産牛肉の特徴と価値が求められている。

牛肉の品質は、近年、消費者のニーズに対応し、牛肉独特の香り、味、舌触りといった食味が重視される傾向にある。

(2) 牛肉の食味は、脂肪の脂肪酸構成に強く影響されることが最近の研究で明らかにされ、脂肪酸構成による食味評価法の開発が期待されている。特に、生産、流通、加工の場において有用な非破壊、簡便、迅速な測定法が望まれている。

## 2. 研究の目的

(1) 黒毛和牛牛肉の脂肪酸組成の特徴と食味の向上に繋がる脂肪酸組成を明らかにする。

(2) トリアシルグリセロール(TG)の脂肪酸結合位置、特に、sn-2 位結合への脂肪酸選択性の分析法を明らかにする。

(3) ATR-FTIR 法(全反射吸収型フーリエ変換赤外分光法)による脂肪酸構成測定法を開発する。

(4) 牛肉の脂肪量推定法開発のために、生体およびカット肉の電気インピーダンス特性の解明とそのモデル化を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 試料肉より採取した皮下脂肪、筋間脂肪、筋内脂肪について、Folch 法に基づいて有機溶媒により抽出した脂肪をガスクロマトグラフィ(GC)により、その脂肪酸組成を測定した。

(2) ロース芯の脂質の総抽出物から TG を単離し、TG にリパーゼを作用させ 2-MG を調製し、両者の脂肪酸組成を分析することでグリセロール骨格 sn-2 位への脂肪酸結合の選択性を調べた。

(3) 項目(1)で用いた生脂肪と抽出脂肪について、ATR-FTIR法による中赤外スペクトルをそれぞれ測定した。ZeSn窓材を用いた ATR-FTIR分光装置(MB3000)により、分解能  $2\text{cm}^{-1}$ 、波数領域  $600\sim 4000\text{cm}^{-1}$ 、積算平均 32 回でスペクトルを測定した。GCによる測定値を比較データとして、PLSにより、構成脂肪酸量を推定する回帰式を求めた。

(4) 生体電気インピーダンス法(BIA)により、牛生体およびカット肉について、周波数 40Hz ~ 1MHz の範囲で、試料の電気インピーダンスを測定した(図 1)。測定インピーダンスのボード線図、Cole-Cole プロットを考察し、Hayden の電氣的等価回路モデルを適用し、モデルパラメータの細胞外抵抗、細胞内抵抗、膜容量等を求め、格付明細に示された脂肪関

連指標との関係を考察した。

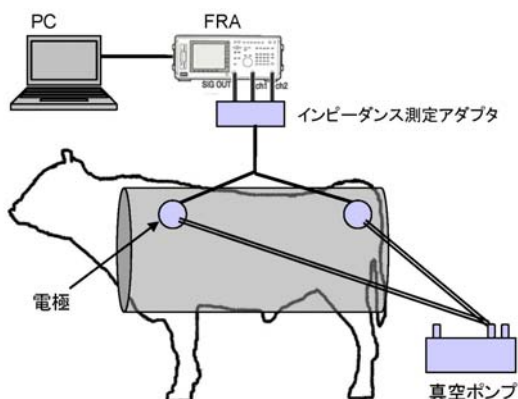


図 1 牛生体 BIA 測定システム

## 4. 研究成果

(1) 黒毛和牛牛肉の脂肪酸組成解析

① 皮下、筋間、筋内脂肪において、主要な構成脂肪酸はオレイン酸(C18:1, 含有率 45~48%)、パルミチン酸(C16:0, 同 24~28%)、ステアリン酸(C18:0, 同 7~12%)であり、体表面に近い脂肪ほど、低い融点を持つ不飽和脂肪酸が多く、また、内部の脂肪ほど、融点の高い飽和脂肪酸が多いことがわかり、国内の先行研究と同様な傾向が確認された。

② 脂肪酸組成に対する部位別脂肪の主成分分析を行い、図 1 の主成分スコアの散布図において、皮下脂肪(□)は、他の部位の脂肪と、脂肪酸組成に関して識別出来ることを見出した。第 1 主成分は脂肪酸の不飽和度に、また、第 2 主成分は分子量に関係する因子と見なされ、両成分により、データ変動の 98% が説明できることがわかった。

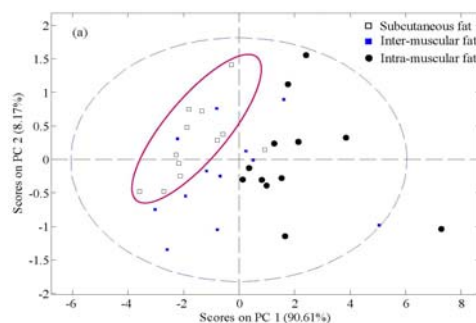


図 2 主成分スコアの散布図

(2) 牛肉脂肪における脂質クラスの分離と sn-2 位脂肪酸

① 不飽和脂肪酸が酸化されにくい位置に優先的に結合し、その位置は sn-2 位と推測される結果が得られた。牛肉脂肪において、TG の結合位置によって選択的に結合する脂肪酸が存在し、その選択性の傾向として立体的に酸化を受けにくい位置に酸化を受けや

すい不飽和脂肪酸、例えばオレイン酸が結合する傾向があると推測された。

(3) ATR-FTIRによる牛肉脂肪酸組成測定

① 抽出脂肪のFTIRスペクトルでは、TGに起因するピークが  $2925\text{ cm}^{-1}$  (C-H 非対称伸縮振動)、 $2856\text{ cm}^{-1}$  (C-H 対象伸縮振動)、 $1750\text{ cm}^{-1}$  (C=O 伸縮振動)、 $1465\text{ cm}^{-1}$  (C-Hはさみ振動) and  $1163\text{ cm}^{-1}$  (C-O 伸縮とC-H 変角振動)に見られ、それらは生脂肪においても共通して現れた。生脂肪では、それらに加え、タンパク質、水に関する吸収ピークが見られた。

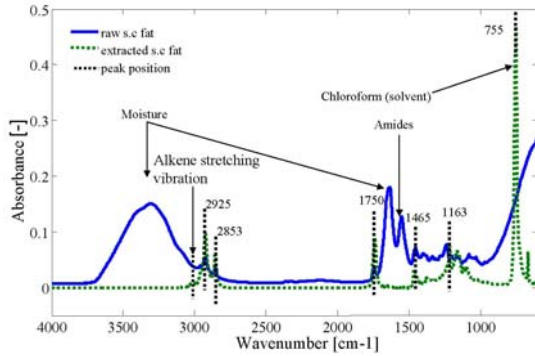


図 3 生脂肪・抽出脂肪の FTIR スペクトル

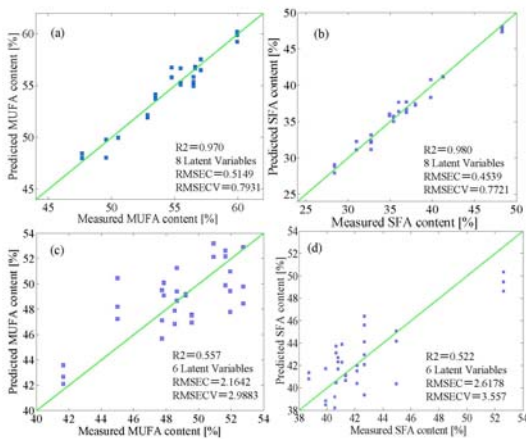


図 4 抽出脂肪・生脂肪の飽和・不飽和脂肪酸の PLS 回帰分析結果

また、吉田ら (Biopolymers, 70, pp. 604-613) の指摘した脂肪酸の不飽和度に依存しピークシフトが現れる  $3000\text{ cm}^{-1}$  近くのアルケン伸縮振動は、二次微分スペクトルにより検出が可能であった。先行研究と同様に不飽和度とピークシフトの関係が確認された。

② 測定スペクトルと GC 測定データとの PLS 回帰分析を行った。図 3 に示すように、抽出脂肪では、1 価不飽和脂肪酸、飽和脂肪酸の PLS 回帰分析では、決定係数は 0.97 以上であり、それら含有率の精度のよい測定が可能であった。しかし、生脂肪では決定係数は 0.5 に低下してしまう。両者の比較から、生脂肪

での測定精度が低い原因は、タンパク質、水などの共存物質の影響と推測され、その解決は今後の課題である。

(4) 牛生体およびカット牛肉の生体電気インピーダンス解析(BIA)

① インピーダンス測定値には、細胞膜由来する分散が認められ、Cole-Coleプロット上でHaydenモデルが適用可能であることがわかった(図 5)。その結果、細胞外抵抗 $R_a$ 、細胞内抵抗 $R_s$ 、膜容量 $C_m$ 、位相角 $\phi$ は、それぞれ  $200\sim 570\ \Omega$ 、 $60\sim 250\ \Omega$ 、 $1.7\times 10^{-7}\sim 2.4\times 10^{-4}$ 、 $0.28\sim 0.83^\circ$  の範囲であった。格付明細の各指標と素子パラメータとの関係について分析を行ったが、規則的な関係は得られなかった。

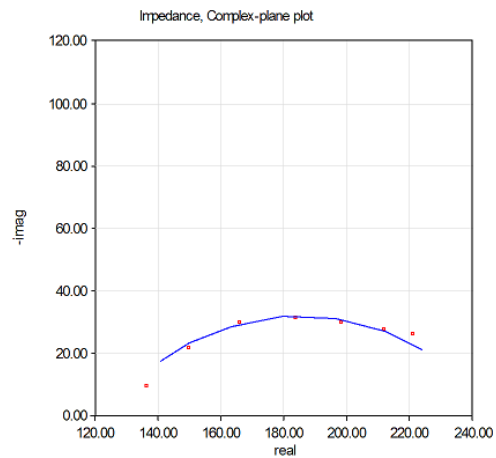


図 5 牛生体の Cole-Cole プロット

② カット肉の生体電気インピーダンス解析  
胸最長筋(ロース芯)を含むカット肉の構成部位の導電率は、図 6 に示すように、 $0.03\sim 0.2\text{ S/m}$  に分布した。また、円周上に 4 対の対向針状電極を設置した 4 方向測定用電極により、筋肉内の導電率の異方性を調べた。

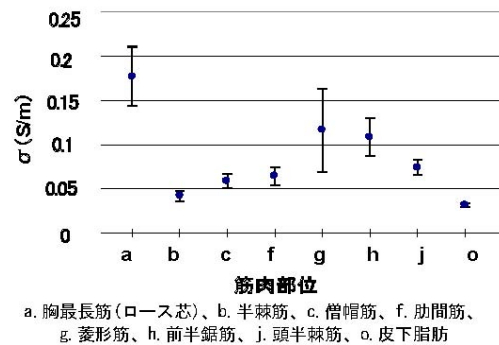


図 6 筋肉部位の導電率

a. 胸最長筋(ロース芯)、b. 半棘筋、c. 僧帽筋、f. 肋間筋、g. 菱形筋、h. 前半鋸筋、j. 頭半棘筋、o. 皮下脂肪

測定時の通電方向が筋内脂肪組織を横切る場合、導電率は最も小さくなり、脂肪細胞の方向性により、導電率に異方性が生じることを確認した。

③ カット肉断面の画像を解析し、筋肉ごとの領域区分を行い、得られた形状データを基礎に有限要素法による電気特性の解析を可能にした。今後、横断面に加え、縦断面方向の電気的特性をモデル化することにより、牛生体の電気特性との関連を解明し、牛生体の有限要素モデル構築の可能性を明らかにすることが望まれる。

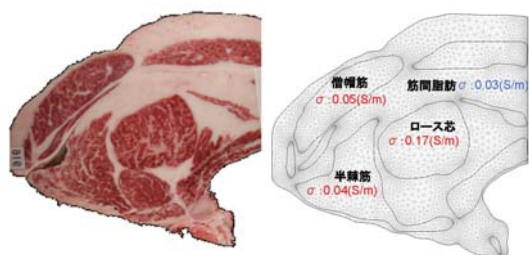


図 7 カット肉画像と有限要素モデル

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Xiaoping Hu, Kiyohiko Toyoda, Minoru Yamanoue, Ikkou Ihara, Kaori Nakai, Evaluation of fatty acid profile of Wagyu beef by ATR-FTIR spectroscopy, Food and Bioprocess Technology, 査読有, (in printing)
- ② Kiyohiko Toyoda, Xiaoping Hu, Minoru Yamanoue, Ikkou Ihara, Kaori Nakai, Characterization of fatty acid composition profile of Japanese black Wagyu beef by ATR-FTIR Spectroscopy, In CD: the Proceedings of the 5th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), 査読有, 2010, P-61
- ③ 豊田浄彦, 井原一高, 吉田和美, 山之上稔, FTIR-ATRによる牛肉脂質脂肪酸組成の非破壊測定、農業機械学会関西支部報、査読無、106、2009、p. 74
- ④ 豊田浄彦, 井原一高, 仲井歌央理, 山之上稔, 牛肉の電気インピーダンスモデルの構築—筋肉、脂肪から構成されるカット肉の電気特性—、農業機械学会関西支部報、査読無、106、2009、p. 73

[学会発表] (計 11 件)

- ① Kiyohiko Toyoda, Minoru Yamanoue, Ikkou Ihara, Xiaoping Hu, Kazumi Yoshida, Kaori Nakai, Evaluation of Fatty Acid Profile of Wagyu Beef by ATR-FTIR Spectroscopy, CIGR Section VI 5th International Technical Symposium, Potsdam, 2009. 9. 2
- ② 豊田浄彦, 仲井歌央理, 井原一高, 山之上稔, 黒毛和牛枝肉の電気特性とその有限要素モデルの構築、農業環境工学関連学会 2009 合同大会、J84、2009
- ③ 胡曉萃, 豊田浄彦, 井原一高, 山之上稔 (2009): 牛肉脂質の脂肪酸組成とその非破壊測定、農業環境工学関連学会 2009 合同大会、J44
- ④ 胡曉萃, 豊田浄彦, 井原一高, 山之上稔、吉田和美 (2009): Analysis of fatty acid composition of Black Wagyu beef by GC and FTIR, 日本食品工学会第 10 回年次大会講演要旨集 1C03, p3
- ⑤ 豊田浄彦, 山之上稔, 井原一高 (2008): 肉質評価のための牛生体の電気インピーダンス解析、2008 年度農業施設学会大会講演要旨, pp. 111-112

他 6 件

[図書] (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

豊田 浄彦 (TOYODA KIYOHIKO)  
神戸大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号：30144603

##### (2) 研究分担者

山之上 稔 (YAMANOUE MINORU)  
神戸大学・大学院農学研究科・准教授  
研究者番号：30182596  
(2008～連携研究者)

井原 一高 (IHARA IKKOU)  
神戸大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号：50396256  
(2008～連携研究者)