

画像を用いた食品評価に関する研究(第2報)

田中 等幸 平湯 秀和 丸山 新*

Research of Food Valuation with Image Analysis (2nd report)

Tomoyuki TANAKA Hidekazu HIRAYU Shin MARUYAMA*

あらまし 牛肉の肉質評価は「牛枝肉取引規格」に基づいて、格付け職員の目視によって決定される。しかし、食肉に含まれるタンパク質、脂質及び水分など、食味に関する項目は肉質評価の対象としては含まれておらず、市場の取引価格に反映されていないのが現状である。そこで、本研究では、食味に関する情報を迅速かつ非破壊で分析することを目的とする。本稿では、総不飽和脂肪酸の割合が既知の腎臓周囲脂肪を対象として、近赤外分光画像から総不飽和脂肪酸の成分分布を推定及び可視化する手法を提案する。

キーワード 牛肉、肉質評価、近赤外分光、画像解析、総不飽和脂肪酸

1. はじめに

牛枝肉の肉質評価は、牛枝肉取引規格に基づき、格付け職員の目視によって脂肪交雑、肉の色沢、肉の締まり及びきめ、脂肪の光沢と質の項目から等級が決定されている。最近では、画像解析技術によって、脂肪交雑の割合や脂肪交雑子の粗さなどを数値化し、客観的に評価する方法が開発されている。しかしながら、食肉に含まれるタンパク質、脂質及び水分など、食味に関する項目は肉質評価の対象として含まれておらず、市場の取引価格に反映されていないのが現状である。

牛肉のおいしさは香り、軟らかさ及び多汁性が珍重され、これらに影響するのは脂（脂肪酸）であり、特に不飽和脂肪酸の割合が高いほど食味がよいと言われている。食味に関する情報を定量化する方法は、通常、理化学分析による破壊試験によって実施されるが、この方法では結果を得るために多くの経費と時間を要するため、食肉の検査現場などには利用されていない。このため、食味に関する情報を迅速かつ非破壊で検査する方法が研究されてきた^[1-3]。従来研究の多くは光ファイバーを利用して、微小な測定領域における近赤外光の拡散反射スペクトルを定量分析する方法である^[4-5]。この方法はスポット箇所を高精度に計測できる一方で、試験対象物全体を評価することは難しい課題がある。

そこで本研究では、スポット計測を面計測法に拡張し、食味に関する情報の分布を推定し、その分布状態を可視化する分析方法を開発する。本稿では、総不飽和脂肪酸の含有量が既知の牛抽出脂肪を対象として、近赤外分光画像から総不飽和脂肪酸の成分分布を推定及び可視化する

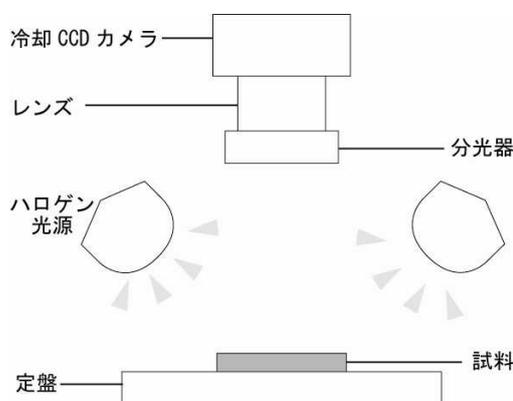


図1 撮影システム

る手法を提案する。

2. 方法

2.1 近赤外画像の利用

近赤外領域には農産物の主成分である、水、タンパク質、脂質及びデンプンなどの成分の情報が含まれていることが知られている^[6-7]。本研究では近赤外カメラとバンドパスフィルタを用いて分光画像を撮影し、それらの画像に基づく解析手法と成分分布の可視化手法を開発する^[8-11]。

2.2 計測システム

図1に分光画像の撮影システムを示す。撮影システムの構成は16bit冷却CCDカメラ（Apogee社製 Alta U260）、分光器（Cri社製 VariSpec NIR）および光源（岩崎電機社製 JPRF100V600WD）からなる。冷却CCDカメラは解像度が512×512pixel、各画素において65,535階調の高精細な

* 岐阜県畜産研究所

データを取得できる．分光器は液晶チューナブルフィルタを使用し，650nm～1100nmの範囲で任意の波長を1nm刻みで透過させることができる．

試料を定盤上に置き，鉛直下向きに冷却CCDカメラで撮影する．電圧変動による照明変動を防ぐため，光源は安定化電源を介して接続し，試料の表面上が一様に照射される位置に設置する．また，温度による試料の変質を回避するため，4の暗室にて撮影を実施する．

2.3 分光画像の取得

本稿では，図2に示すように波長帯域680nm～1100nm，10nmの波長間隔にて計43枚の分光画像を取得する．ただし，冷却CCDカメラの波長毎の感度の違いや分光器の透過率の違いを均一にするため，被写体に対する光量が一定となるように，事前に露光時間を調整する．本研究では，試料を撮影する前に各波長において，白色セラミック製の標準反射板を冷却CCDカメラで撮影し，得られた分光画像において，画像全体の平均画素値がある閾値内に収まるように露光時間を決定する．そして，各波長帯でそれぞれ求めた露光時間で，試料の分光画像を取得する．

2.4 検量線の作成手順

図3に分光画像から検量線を推定までの手順を示す．検量線とは画像の平均反射率から成分値を推定するモデル式をいう．分光画像に対して平滑化処理を行った後，試料と標準反射板の各波長の分光画像を用いて，式(1)に示す吸光度Aを算出する．式(1)はLambert-Beerの法則に基づくものであり，成分分析比と吸光度との間には比例関係が成り立つことを仮定している．ここで，波長において標準反射板の分光画像における画素(x, y)の輝度値をS_(x, y)，試料の分光画像における画素(x, y)の輝度値をO_(x, y)とする．

$$A_{\lambda(x, y)} = \log(S_{\lambda(x, y)} / O_{\lambda(x, y)}) \quad (1)$$

次に，ベースライン変動を除去し，埋もれたピークを顕在化するため，吸光度に対して2次微分処理を行い，各波長の画像全体の2次微分吸光度の平均値を求める．そして，試料の成分分析により得られた実測値と平均値を用いて，各波長において相関係数を求め，最も相関係数が高く，かつ水分等の影響の少ない波長を用いて検量線を作成する．なお，脂肪の成分分析は，試験試料について液クロマトグラフィ（島津製作所社製 SPD-10AV）を用いて脂肪酸組成を計測する．

最後に，作成した検量線を画像の各画素に適用し，各画素における総不飽和脂肪酸の割合を算出する．

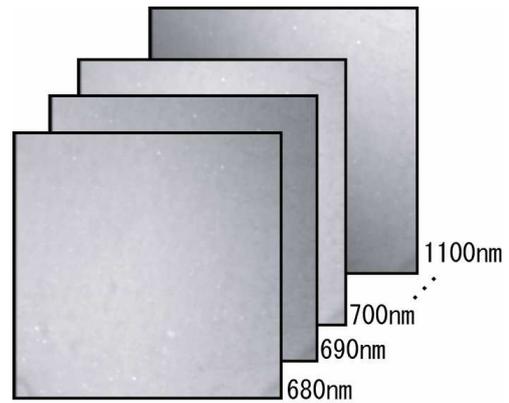


図2 分光画像の取得

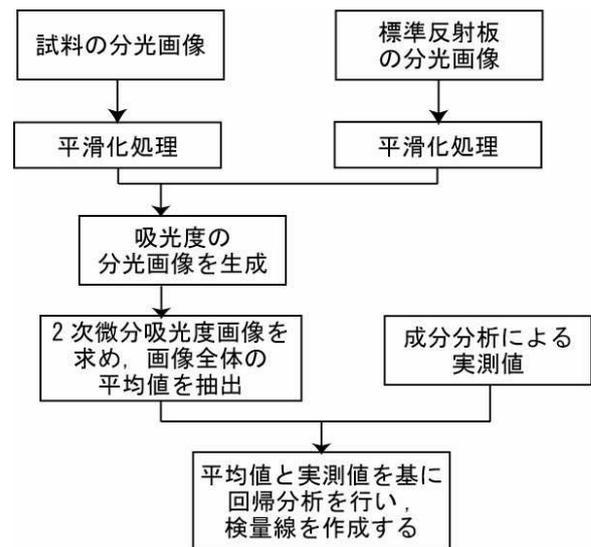


図3 検量線作成手順

3. 実験

3.1 試料

対象とする牛抽出脂肪は，牛の腎臓周囲脂肪（検量線作成用9検体，検量線評価用7検体）をそれぞれ135に加熱して，無水硫酸ナトリウムを用いて濾過し，直径70mm，深さ10mmのシャーレに入れ，4の環境に24時間以上静置したものを使用する（図4）．

3.2 検量線の作成

9種類の牛脂肪に関して，得られた分光画像から平均反射率を求め，吸光スペクトルを求めた．なお，吸光スペクトルとは吸光度の波長変化を意味する．吸光スペクトルの結果および吸光スペクトルに対して2次微分処理を行った結果を図5と図6に示す．なお，2次微分処理は式(2)より求めた．

$$d^2A = A_{(\lambda + 20nm)} - 2A_{\lambda} + A_{(\lambda - 20nm)} \quad (2)$$

図5 図6にそれぞれ吸光スペクトルと2次微分スペクトル



図4 牛抽出脂肪

を示す 総不飽和脂肪酸の割合が多ければ吸光度は高く、また、それぞれの試料において、930nm付近に最も高いピークがみられた。試料の違いはあるが、920~930nm付近には、脂肪含量と高い相関があることが報告されている^[3]。したがって、920~930nmは脂肪成分の含量を反映する波長として適当であると考えられる。

本稿では、総不飽和脂肪酸と最も相関のある波長を同定し、その波長における2次微分吸光度と総不飽和脂肪酸の実測値との検量線を作成する。そこで、図5で得られた各吸収ピーク波長に関して2次微分スペクトルと成分分析で得られた実測値との相関係数を求めた(表1)。いずれの波長も吸光度の2次微分スペクトルと総不飽和脂肪酸との間に負の相関があり、吸光度が高い波長ほど総不飽和脂肪酸との関係が強い結果を得た。表1に示す各波長において2次微分吸光度と総不飽和脂肪酸の実測値から回帰分析を行った。その結果、最も高かった波長は760nmで相関係数0.84、標準誤差は±2.51であった。しかしながら、この波長付近は、総不飽和脂肪酸との相関が高いが、水の吸収帯として知られており^[6]、水分による吸光度への影響を無視できない。そこで、2番目に波長の高い930nmの波長を採用し検量線を作成した。次に、検量線の精度を評価するため、検量線作成用試料とは別の検量線評価用試料を用いて、予測値と実測値から精度を確認した。図7は推定値と実測値との関係をプロットした結果である。検量線は式(3)に示す通りであり、2次微分吸光度と総不飽和脂肪酸との相関係数は0.81、標準誤差は±2.73%であった。

$$\text{予測値}[\%] = 25.547 - 190.154 \times d^2 A_{930\text{nm}} \quad (3)$$

3.3 総不飽和脂肪酸分布の可視化

総不飽和脂肪酸の実測値が異なる検量線評価用4試料を撮影した分光画像に対して、(3)式の検量線を適用し、総不飽和脂肪酸分布の可視化を行った。図8上段に総不飽和脂肪酸の分布画像を示し、下段に推定した総不飽和脂肪酸の平均値と成分分析により得られた実測値を示す。推定した総不飽和脂肪酸の平均値はほぼ実測値と同じ結果となった。また、可視画像では白色の情報しか得られないが、近赤外画像によって総不飽和脂肪酸の成分分布を視覚的に捉えることが可能となった。

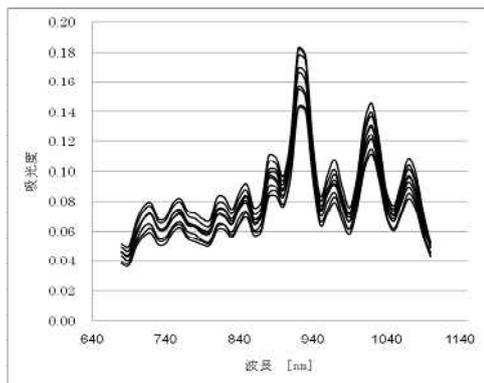


図5 吸光スペクトル

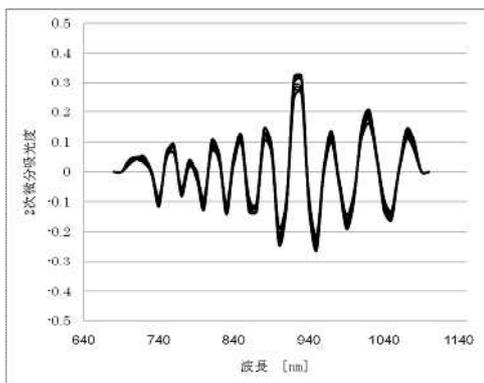


図6 2次微分スペクトル

表1 2次微分吸光度と総不飽和脂肪酸の単相関係数

波長[nm]	相関係数	標準誤差[%]
760	-0.84	2.51
810	-0.72	3.19
850	-0.49	4.05
880	-0.59	3.75
930	-0.80	2.80
970	-0.61	3.66
1030	-0.74	3.11
1080	-0.77	2.98

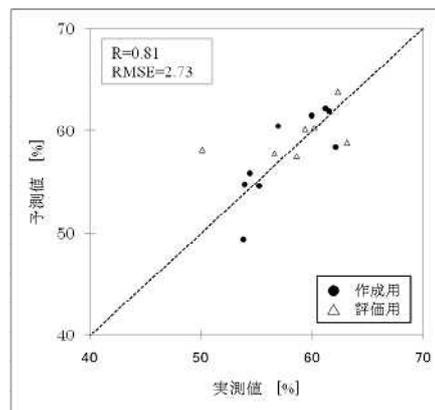


図7 総不飽和脂肪酸の検量線

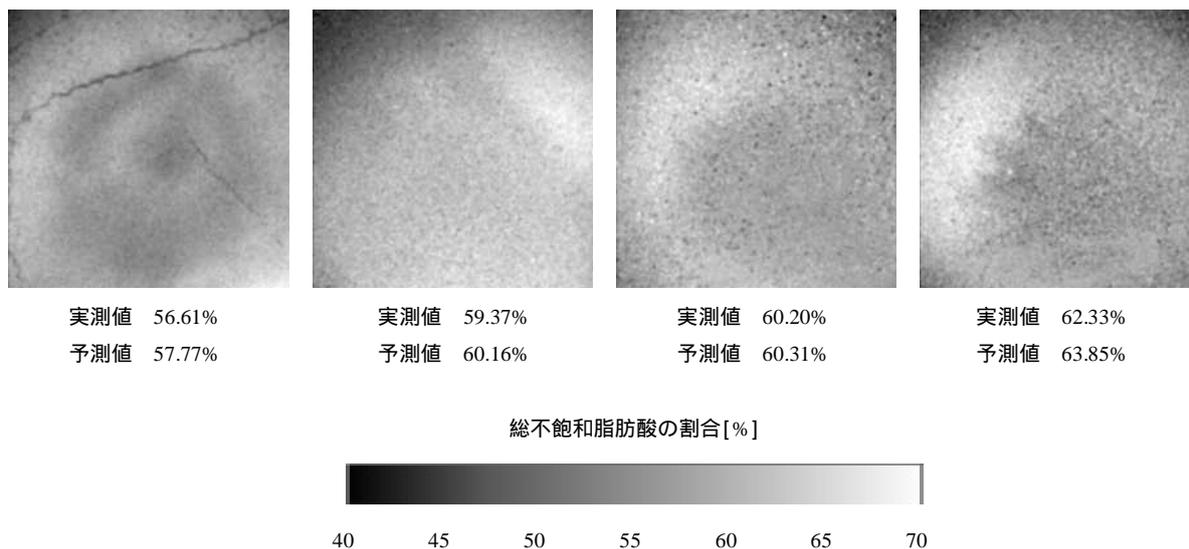


図8 総不飽和脂肪酸分布の可視化画像

4. まとめ

本研究では、牛肉のおいしさに影響を及ぼす総不飽和脂肪酸含有量とその分布状態を簡単かつ非破壊で計測することを目的とした。その前段階として総不飽和脂肪酸の含有量がほぼ既知の牛抽出脂肪を対象に、近赤外分光画像から総不飽和脂肪酸の成分分布を可視化する手法を提案した。本稿では、近赤外帯域に感度を有する冷却 CCDカメラ、分光器及びハロゲンランプの構成によって、680～1100nmの波長範囲で牛抽出脂肪の分光画像を取得し、拡散反射率と成分分析により得られた総不飽和脂肪酸の実測値との関係を回帰分析することで検量線を求めた。そして、検量線を用いて分光画像から総不飽和脂肪酸の成分分布の可視化画像を生成した。

今後は、更に試料の数を増やし、検量線の精度を向上させ、牛肉への適用へと進めたい。

謝 辞

本研究は農林水産政策を推進する実用技術開発事業 No.1673により実施した。

文 献

[1] 三津本, “近赤外による肉質評価について”, 品質評価法と改善技術(前編), 全畜連情報 No.442. 8-9. 2005.
 [2] 堀内, 知久, 坂野, 河原, 曾根, 近赤外法を利用した軟脂豚の迅速評価法, 日豚会誌, Vol.30, No.4, pp.257-266, 1993.
 [3] 三津本, “近赤外分光法による畜肉の分析”食品の非破壊計測ハンドブック, pp.184-187, 2003.

[4] 入江, “光学的手法による最新肉質評価技術”, 日本食品工業学会誌, Vol.40, No.10, pp.747-754, 1993.
 [5] I.Gonzalez-Martin, C.Gonzalez, N.Alvarez-Garcia, J.M.Gonzalez-Cabrera, “On-line determination of fatty acid composition in intramuscular fat of Iberian pork loin by NIRs with a remote reflectance fiber optic probe”, Meat Science, 69, pp.243-248, 2005.
 [6] 岩元, 河野, 魚住, “近赤外分光法入門”, 幸書房, 2002.
 [7] 尾崎, 河田, “近赤外分光法”, 学会出版センター, 2008.
 [8] 平湯, 田中, 丸山, “近赤外画像を用いた牛脂肪の品質評価”, 動画像処理実用化ワークショップ DIA2009, pp.278-281, 2009.
 [9] 田中, 平湯, 丸山, “近赤外画像による牛脂肪の解析手法の開発”, 第46回肉用牛研究会北海道大会, pp.69-71, 2008.
 [10] 丸山, 田中, 平湯, “近赤外画像を用いた牛脂肪の非破壊脂肪酸測定”, 第46回肉用牛研究会北海道大会, pp.43-45, 2008.
 [11] 曾賀野, 平湯, “画像を用いた食品評価に関する研究” 岐阜県情報技術研究所報告 第9号 pp.8-10, 2008.