

画像を用いた食品評価に関する研究

曽賀野 健一

平湯 秀和

Research of Food Valuation with Image Analysis

Ken-ichi SOGANO

Hidekazu HIRAYU

あらまし 牛肉等の食品に含まれる成分の中で、食味性（口溶け等）に影響を与えるとされる不飽和脂肪酸に着目し、不飽和脂肪酸の割合を非破壊かつ客観的に定量評価する手法として、近赤外光を用いた分光画像に対して画像解析技術を用い、光強度から不飽和脂肪酸の割合を推定するアルゴリズムを考案した。本報告では、光強度と不飽和脂肪酸の割合の関係性を把握するため、不飽和脂肪酸の割合が異なる2種類のサンプル（牛抽出脂肪）を用いて分光画像撮影実験を行い、得られた分光画像データから各波長における光強度特性を示した。

キーワード 不飽和脂肪酸、非破壊、分光法、牛抽出脂肪、分光画像

1. はじめに

近年、食材の食味に関して、客観的な評価指標を確立し、安定した食品の品質を供給する要望が高まっている。

従来、牛肉等の肉質評価は、社団法人日本食肉格付協会が農林水産省畜産局長の承認を得て制定した「牛枝肉取引規格」に基づいて、格付職員の目視（主観的判断）により決定される^[1]。しかし、破壊試験で行う食味に関わる成分の分析は、分析時間が非常にかかることから全ての牛肉に対して行うことが困難なことから格付値の決定に反映されていない状況である。格付の結果は、取引価格に直結する一方で、食味の情報が含まれず、格付値と食味の関係は、ブランドの信頼性と牛肉流通全体に関わる問題として、現場が抱える大きな課題となっている。

このため、食味に関わる特徴を、科学的解析手法を用いて、非破壊・迅速・簡単に評価が可能な客観的指標の確立が期待されている。

また、岐阜県が誇るブランド肉牛である飛騨牛も例外ではなく、飛騨牛の特色ある食味に関して、客観的指標を確立することは、飛騨牛の育種改良・ブランド振興に向けて、大きな拍車となると考えられる。

2. 目的

牛肉等に含まれる成分の中で、食味に影響を与える成分として、不飽和脂肪酸があげられる。これは、総脂肪酸に対して不飽和脂肪酸の割合が高いほど、脂肪融点が低くなり、食味性（口溶け）がよいとされるためである^[2]。

そこで、本報告では不飽和脂肪酸に着目し、不飽和脂肪酸の割合を、科学的解析手法により、非破壊・迅速・簡単に推定することを行う。これにより、従来の肉質評価では困難であった食味に関する有力な情報として、客観的な指

標を示すことができるのではないかと考えた。

3. 方法

3.1 分光法

成分の定量を非破壊的に行う科学的手法として、分光法の利用が考えられる。分光法は、光と物質の相互作用によって生じる光強度やエネルギーの変化を捉えて、成分の分析結果を数値的に求める科学的手法であり、物質が光を吸収する際の振動数が、物質の種類や構造に関して固有の値を示す特性を利用する。分光法は、光を利用した測定であるため、非破壊・迅速・簡単に成分の定量を行える点で有力な手法と考えられる。

3.2 近赤外光

測定対象物ごとに、分光法を適用する観測波長帯域を考慮する必要があるが、今回の測定対象物となる牛肉等には、水分が比較的多く含まれるため、水分の影響を極力軽減することが望ましい。ここで、近赤外光は、一般に800～2,500nmの電磁波を指すが、特に短波長域では水の光吸収感度が極めて微弱となることが知られている^[3]。さらに、近赤外の短波長域は、エネルギーが比較的低い電磁波であるため、牛肉等の水分含有試料を非破壊的に扱う場合の分析に適しているとされている。

3.3 不飽和脂肪酸の吸光特性

観測波長帯域として、近赤外の短波長域を採用する場合に、その帯域における不飽和脂肪酸の光吸収特性を、事前に把握しておく必要がある。

飛騨牛等の牛肉に含まれる不飽和脂肪酸のうち、主要な構成物質がオレイン酸である^[4]。予備調査として、オレイン酸の標準試薬（純度99%）に関して、波長800～1,100nmの範囲における分光スペクトル特性を確認したところ、波長914nmに光吸収ピークの存在を確認した。

光吸収バンドの帰属を考慮し、観測波長帯域を選択することは、検量モデルを合理的に作成することができるとともに、理論的な根拠をもつことになる^[5]ため、本報告では、波長914nmを中心とした帯域を観測波長帯域として採用することとした。

3.4 画像の利用

分光測定に関しては、光ファイバを用いる方法も提案されているが、ポイント測定となり、また、十分なサンプル数が得られないため、サンプルの測定点と理化学分析値との間に不整合が生じる問題点がある。そこで本報告では、ポイント測定から2次元画像測定への拡張を考案し、より精度の高い検量モデルの構築を目指す。

3.5 分光画像

分光画像は、分光器を取り付けたCCDカメラにより、一つ一つのサンプル(牛肉)に対して、891nm～938nmまで、1nm毎に波長を変えて取得した。ただし、標準板に対する相対的な光強度を画素単位で算出することで、測定環境の影響の低減を図った。(図1参照)

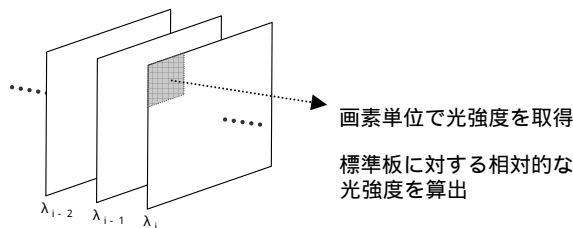


図1 分光画像データの取得

3.6 データ解析

3.5節で算出した各画素の光強度に対応する不飽和脂肪酸の割合を求めるため、任意の波長において、(1)式が成り立つ。

$$\sum_{i=1}^n k_i \cdot u(r_i) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot U \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

k_i : 光強度 r_i の画素数

$u(r_i)$: 光強度 r_i に対応する不飽和脂肪酸の割合(%)

U : 不飽和脂肪酸の割合(%) (理化学分析値)

n : 光強度の階調値

全サンプルの(1)式に関して、連立方程式を解くことにより、任意の波長における光強度と不飽和脂肪酸の割合の対応値が求まる。他の波長についても同様の計算を行い、光強度と不飽和脂肪酸の割合の相関が最も高くなる波長を選択する。

解析フローを図2に示す。

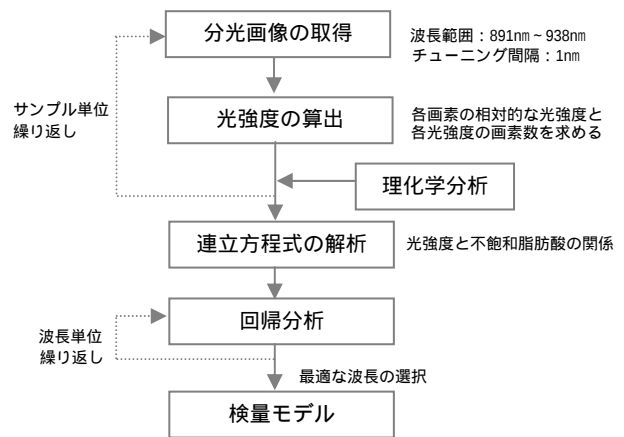


図2 解析フロー

4. 実験

4.1 実験装置

図3に分光画像の撮影装置を示す。検出器は、高階調(16bit)の冷却CCDカメラ(Alta U260, Apogee社)を使用した。冷却CCDカメラは、最大で512×512pixelの分光画像を、画素単位で65,535階調の高精細なデータを取得することが可能である。分光器は、波長チューナブル液晶フィルター(VariSpec NIR, CRi社)を使用した。波長チューナブル液晶フィルターは、冷却CCDカメラとレンズを介して接続し、PC上の操作により、冷却CCDカメラと波長チューナブル液晶フィルターを連携制御することで、近赤外の任意の帯域における分光画像を連続して撮影することが可能である。

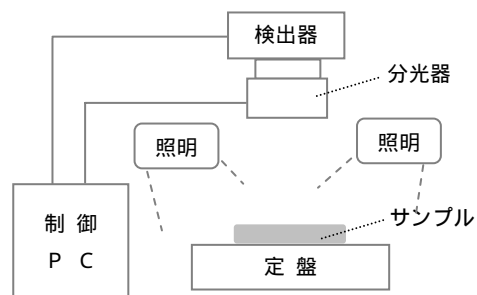


図3 分光画像の撮影装置

4.2 実験環境

分光画像の撮影場所は、岐阜県畜産研究所内の恒温室で行った。恒温室は、室温を常に一定に保ち、外光の影響を受けない暗室である。本実験では、室温を4℃に固定した。

4.3 サンプル

不飽和脂肪酸の割合が異なるサンプルの場合、その光強度が、観測する波長に応じて、どのような変化(傾向)を示すのか把握しておくことが重要



図4 牛抽出脂肪

と考え、あらかじめ、不飽和脂肪酸の割合が既知な脂肪成分のみを抽出したサンプル（図4参照）を2種類使用して、分光画像を取得することとした。

なお、牛抽出脂肪の厚さは5mmとした。

4.4 データの取得

冷却CCDカメラの冷却温度は、-5℃に設定し、絞りは、F8とした。分光画像のサイズは、最大の512×512pixelとし、波長891～938nmにおいて、1nm間隔で標準板および各サンプルの分光画像を取得した。

画素単位で取得した標準板と各サンプルのデータを用いて、見かけの（相対的な）光強度を算出した。

分光画像取得後、恒温室と同じ場所に設置されている液体クロマトグラフィ（SPD-10AV他 島津製作所）を用いて、理化学分析値を測定したところ、2つのサンプルの不飽和脂肪酸の割合は、それぞれ50.18%と59.28%であった。

5. 結果と考察

各サンプルの光強度特性を図5に示す。

実際には、3.6節で述べたとおり、適切なサンプル数を確保した上で、光強度分布（ばらつき）を考慮した解析を行うことになるが、今回は、2種類のサンプルに関して、波長による光強度変化（傾向）の違いを確認する。図5に光強度の平均値を用いて比較した結果を示す。

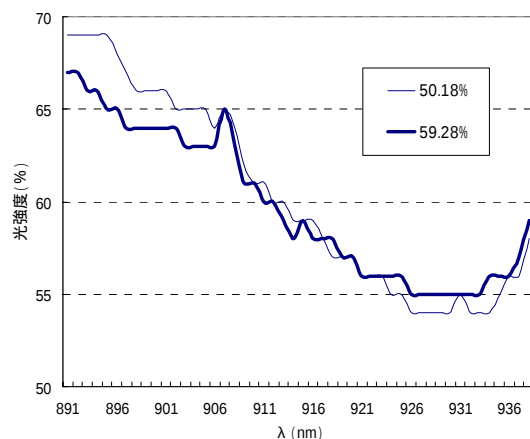


図5 各サンプルの光強度特性

不飽和脂肪酸の割合の多いサンプル（太線）は、不飽和脂肪酸の割合の少ないサンプル（細線）と比較して、波長906nm以下で光強度が低い、波長924nm以上では反対に光強度が高い傾向を示す結果となった。

今回の2種類のサンプルに関していえば、波長906nm以下において、不飽和脂肪酸の割合を光強度で最もよく説明できる波長が存在する可能性を示している。

6. まとめ

本研究では、分光法の原理と画像解析技術を組み合わせることにより、光強度から不飽和脂肪酸の割合を非破壊かつ客観的に推定する科学的解析アルゴリズムを考案した。

不飽和脂肪酸の割合が異なる2種類のサンプル（牛抽出脂肪）の分光画像撮影実験を行い、得られた分光画像データから、観測する波長によって、各サンプルの光強度（平均値）に差が生じることを確認した。

今後は、さらに牛抽出脂肪のサンプル数を増やし、実際の光強度分布を考慮した数値解析を行うことで、不飽和脂肪酸の割合と光強度の関係を最もよく説明できる波長を選択し、より精度の高い検量モデルの構築と評価を行う予定である。

謝 辞

本研究の分光画像撮影等に関わり、助言を頂きました岐阜大学工学部山本和彦研究室の皆様にご感謝いたします。

また、本研究の予備調査に関わり、成分の分光特性資料を提供くださいました岐阜女子大学家政学部小川宣子教授にご感謝いたします。

文 献

- [1] “社団法人 日本食肉格付協会 取引規格の説明”，<http://www.jmga.or.jp/>
- [2] “市場牛肉質性状の実態調査”，畜産試験場年報，No.25，pp.151-162，1987.
- [3] 尾崎幸洋，河田聡，“近赤外分光法”，株式会社学会出版センター，pp.11-15，1996.
- [4] “文部科学省 五訂増補日本食品標準成分表”，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031801.htm
- [5] 尾崎幸洋，河田聡，“近赤外分光法”，株式会社学会出版センター，pp.35，1996.
- [6] 岩本睦夫，河野澄夫，魚住純，“近赤外分光法入門”，株式会社幸書房，1994.
- [7] 河野澄夫（編者），“食品の非破壊計測ハンドブック”，株式会社サイエンスフォーラム，2003.