

画像を用いた食品評価に関する研究(第4報)

田中 等幸 丸山 新* 山田 俊郎 曾賀野 健一 棚橋 英樹

Research of Food Valuation with Image Analysis (4th report)

Tomoyuki TANAKA Shin MARUYAMA* Toshio YAMADA
Kenichi SOGANO Hideki TANAHASHI

あらまし 地域県産品のおいしさをPRするための一つ的手段として、外観の良さや成分値を客観的かつ定量的に評価する取り組みが実施されている。牛肉においては、主に脂肪交雑など外観の良さが評価の対象として重視されているが、近年肉眼では判断が難しい脂質を評価することが注目されている。これまでに、カメラ画像から良質な脂を含む牛肉評価技術を確認するため、脂質と光学的な関係を実験的に検討してきた。今年度は、牛肉の脂質分布を可視的に表示する脂質評価装置の開発を目的とした。試作した装置は、外乱光を遮断する筐体内にカメラ、LED照明を内蔵し、光源コントローラおよびPCによって構成される。胸最長筋（ロース芯）に対し、2種類の単波長LED光を順に斜光照射することによって、マルチスペクトル画像が取得される。画像は脂質解析ソフトウェアによって解析され、脂質割合の分布画像を作成される。牛肉片60試料を用いて脂質推定精度を検証した結果、相関係数0.745。推定誤差2.24%の結果を得た。

キーワード 牛肉、画像、オレイン酸割合、脂質評価装置

1. はじめに

牛枝肉取引規格による評価項目は、歩留まり等級と肉質等級に大別される。歩留まり等級は枝肉から得られる部分肉の重量によって決定される。肉質評価は、ロース芯部分を評価対象として、脂肪交雑、肉の色沢、肉の縮まり及びきめ、脂肪の光沢と質の項目に対して、格付職員の目視評価によって等級が決定されている。牛枝肉取引規格によって品質評価が全国的に統一化されている中で、日本国内には200種以上もの銘柄牛があり、他銘柄牛との差別化や高付加価値化に向けた独自の取り組みが各地で行われている。最近の研究によって、脂質が牛肉独特の香り、軟らかさ及び多汁性と関係があることが知られている。このような背景から、従来の肉質評価に加えて、脂質を評価するブランド化に向けた新たな試みが行われている。しかしながら、現在多く実施されている脂質の測定方法は、理化学測定装置による破壊試験である。そのため、測定結果を得るためには、牛肉をミンチ状に粉碎するなど時間を必要とすること、また測定値は牛肉全体の評価と必ずしも一致しない等の課題があった。

我々は、上述した課題を解決するため、肉眼での判断が困難な脂質を非破壊かつ定量的に評価する技術開発を実施してきた^[1-2]。また、評価結果と食味官能評価試験結果との関連性や画像を用いた面分布測定法の有効性につ

いて検討した。今年度は小売・流通現場等での利用を想定した可搬型の脂質評価装置を試作し、精度評価を行ったので報告する。

2. 脂質評価装置の設計

2. 1 カメラと光源との偏角イメージング

画像処理の分野では、対象や目的に応じて照明環境を設定するが、光源の位置や光源とカメラとの相対関係を検討することは重要である。カメラは肉表面で反射する反射光と肉内部に入り込んだ散乱光の強さを取得することになる。そこで、カメラと光源との位置関係によって、画像の明るさや見え方にどの程度影響するかを明らかにするため、偏角イメージング実験を行った。

図1に偏角イメージング実験のモデル(側面図)を示す。実験は冷暗室環境の下で行った。被写体には、標準反射板と固化した牛抽出脂肪3試料(直径100mm、厚さ10mm)を使用した。カメラは鉛直下向き方向にセットし、試料は試料中心が光軸と一致するように置いた、なお、台座による反射の影響を軽減するために、吸光シートを敷いた。光源はC-H結合由来の940nmのLED照明を使用した。試料中心からの距離 $r=200\text{mm}$ 、 $\angle XOP$ の大きさを入射角度 θ とすると、光源の位置は $P(r, \theta)$ と表わされる。実験では、光源の入射角度(θ)を $0\sim 90^\circ$ 、 15° 間隔に移動させ撮影した。図2は光源の入射角度ごとの比平均反射率(実線)と標準偏差(破線)である。入射角

* 岐阜県畜産研究所

度が大きくなるにつれて比平均反射率も大きくなる傾向にあった。これは、入射角度が大きくなるに伴い、正反射成分が強くなり影響した結果であると考えられる。一方、標準偏差は0~30°までは減少傾向にあり、30°過ぎから増加傾向にあった。図3は光源の入射角度90°と30°との画像比較である。黒色を0%、白色を100%として比平均反射率をグレースケールで表現した。光源の入射角度90°の画像は30°の画像に比べて明るさやコントラストが大きい一方で、試料表面の凹凸の状態を鮮明に映し出すことを確認した。したがって、コントラストが大きく、なおかつ表面の凸凹状態による影響を軽減することを考慮すると、光源の位置は斜照明（入射角度45°~60°）が良好であるとする知見が得られた。

2. 2 装置構成

試作した脂質評価装置は、撮像系を含む筐体、PCおよび光源コントローラによって構成される（図4）。撮像系は冷却CCDカメラ（Apogee社AltaU260）とC-H結合由来の2種類のLED（760nm, 940nm）によって構成され、これらは外乱光を遮光するためにドーム型の筐体に内蔵した。筐体の内径はローズ断面を内包することを考慮し300mmとした。筐体の高さは、様々なレンズの画角に対応するため、242mmと360mmに高さ調整可能な2段階構造とした。また、LEDは100mmの高さに設置し、前節の知見を踏まえ、光軸からの角度45°の斜照明とした。ローズ芯面積（およそ直径100mm）がバランス良く均一に明るくなるように、LEDはローズ中心から±50mmの位置に照射する方向に傾けて取り付けた。2種類のLEDの配列パターンは1列全周とする高密度かつ交互配列とした（図5）。

2. 3 マルチスペクトル画像処理

処理手順は、まずマルチスペクトル画像間の明るさを均一にするため、標準反射板を用いて異なるLEDごとに光源コントローラによって光量調整する。予め調整した光量の下、標準反射板をセットし、LEDを順に点灯させ、2枚のマルチスペクトル画像を撮影しておく。次に、試料をセットし、同様に2枚のマルチスペクトル画像を撮影する。なお、マルチスペクトル画像は16bit階調、解像度512×512pixelである。

脂質解析処理や脂質分布画像作成等の画像処理は、開発した脂質解析ソフトウェアによって行う。試料の反射画像は、波長ごとに標準反射板の反射画像によって正規化され、比反射率画像が作成される。比反射率画像は1画素単位に脂質推定値が計算されると同時に、脂質割合分布画像が作成される。試料間の脂質割合分布状態を比較するため、比反射率をグレースケールまたはカラーマップ表示する。

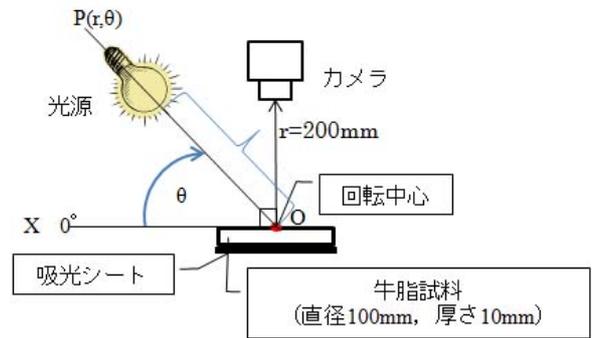


図1 実験モデル

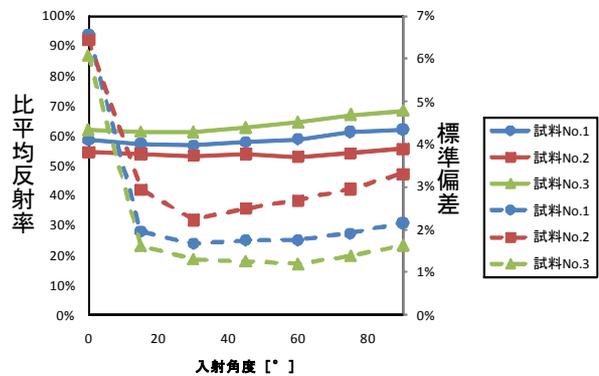


図2 入射角度と平均反射率・標準偏差との関係

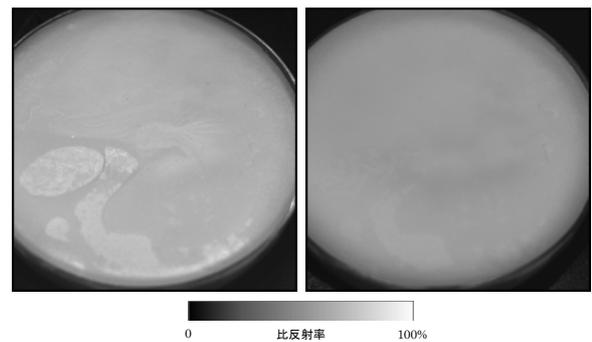


図3 入射角度90°画像（左）と入射角度30°の画像（右）

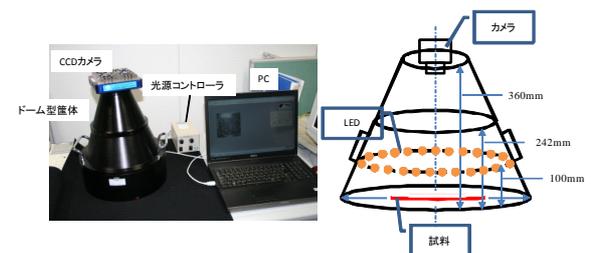


図4 脂質評価装置の外観（左）と筐体の概要（右）

3. 脂質評価装置の評価

3. 1 評価方法

岐阜県の枝肉市場に上場された和牛を実験材料とし、厚さ10mm程度にスライスしたリブローズを冷蔵庫で1日以上冷蔵したものを実験に使用した(図6)。

図7に評価方法の手順を示す。試料は筐体によって覆い被され、牛肉ロース芯のマルチスペクトル画像を取得後、比反射率画像を作成した。比反射率画像は2値化処理によって脂肪と筋肉を区分し、村澤らの分割手法^[3]を用いて、4領域ごとに脂肪の平均反射率を求めた(n=60)。なお、撮影時の牛肉試料の表面温度は0~4℃であった。次に、ロース芯を4領域に分割裁断し、高速液体クロマトグラフによって、領域ごとに理化学測定値を測定した。理化学測定値と比反射率との関係から推定式(検量モデル(式1))を作成し、モデルの精度(相関係数R, 推定誤差RMSE%)を評価した。なお、検量モデルは目的変数をオレイン酸割合の理化学測定値, 説明変数を比吸光度とする重回帰分析によって求めた。

$$c = k_0 A(\lambda_0) + k_1 A(\lambda_1) + k_2 \quad (\text{式 1})$$

ここで、cはオレイン酸割合の予測値、 $A(\lambda_0)$ 、 $A(\lambda_1)$ はそれぞれ第一選択波長, 第二選択波長における比吸光度、 k_0 、 k_1 および k_2 は理化学測定値と予測値との残差を最小とする条件によって決定される定数である。

3. 2 評価結果

図8に理化学測定値と脂質解析ソフトウェアによる推定値との関係をプロットした。図中のひし形はモデル作成のための試料, 丸形は未知試料を示している。モデルの精度は相関係数0.745, 推定誤差2.24%であった。従来の光ファイバによる評価装置^[4]の推定精度が2.20%(n=60)であったことから試作段階としては良好な結果と言える。

図9は霜降りの程度が同程度の牛肉試料に対し、オレイン酸割合分布をグレースケール表示比較した結果と脂質割合推定値のヒストグラムである。実験に使用した試料の理化学測定によるオレイン酸割合は、最小値43.1%, 最大値57.6%であったため、40~60%の範囲をグレースケール表示した。黒または白画素は脂肪以外の部位を示しており、明度が黒色から白色へと明るくなるにつれてオレイン酸割合が高くなることを示している。図9(a)試料, 図9(b)試料それぞれの4領域の理化学測定値と推定値の平均値はほぼ一致した。両者のオレイン酸分布を画像およびヒストグラムから比較しても図9(a)試料のオレイン酸割合が全体的に高いことがわかる。このことから、個体間でのオレイン酸割合の分布比較が確認できたと同時に、脂質評価装置の有効性を示した。

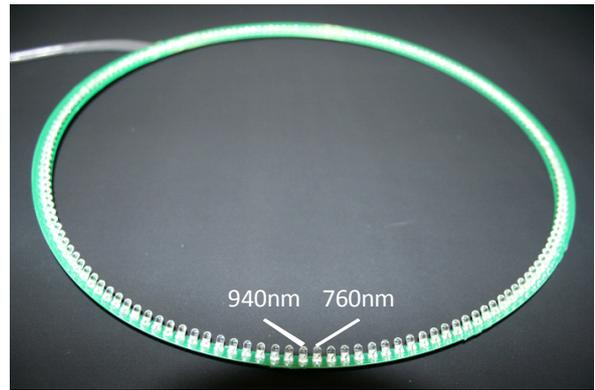
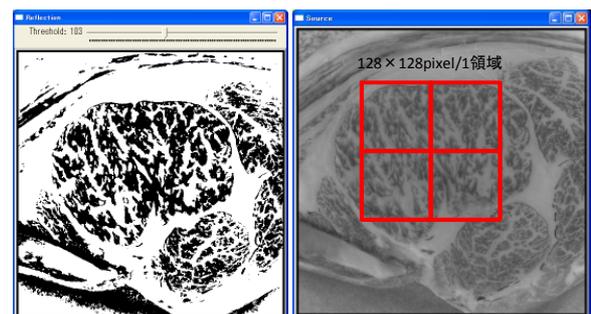


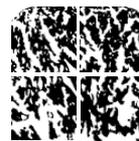
図5 LED照明



図6 実験材料



①2値化処理によって比反射率画像から脂肪画素を抽出する。 ②ロース芯を4領域に分割し、脂肪の平均反射率を求める。



③4領域を分割裁断し理化学測定する。②で求めた平均反射率と理化学的測定値から推定式(検量モデル)を作成する。

④理化学的測定値と推定値との関係から、決定係数および推定誤差を求め、脂質評価装置の精度を評価する。

図7 評価方法

4. まとめ

本研究では、牛肉の食味の良さの一要因として知られる良質な脂，オレイン酸を対象とし，非破壊かつ可視的に定量化する可搬式の脂質評価装置を試作した。装置はカメラとLEDの撮像系，光源コントローラおよびPCによって構成される。撮像系の設計において，偏角イメージング実験を行った結果，LEDの配置は斜光照明とした。また，PCにはカメラ制御とマルチスペクトル画像からオレイン酸割合分布画像を作成するまでの脂質解析ソフトウェアを実装した。牛肉試料を用いて脂質評価装置の脂質推定精度を評価した結果，相関係数0.745，推定誤差2.24%の結果が得られた。

今後，装置の小型化，推定精度の向上を進めることで，現場での利用や，脂質成分を定量的かつ可視的に測定する研究開発ツールとして利用されることが期待される。

謝 辞

本研究の一部は，科学技術振興機構（JST）研究成果最適展開支援事業（A-STEP）フィージビリティスタディ【FS】ステージ探索タイプ「牛肉の脂質評価装置の開発」と，総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE) 地域ICT 振興型研究開発「県産ブランド牛肉付加価値向上のための携帯型牛肉おいしさ測定端末の研究開発」の委託を受けて実施した。ここに感謝の意を示す。

文 献

- [1] 田中等幸，平湯秀和，丸山新，“画像を用いた食品評価に関する研究（第2報）”，岐阜県情報技術研究所報告，第10号，pp.54-57，2008。
- [2] 田中等幸，丸山新，赤塚久修，松原早苗，棚橋英樹，“画像を用いた食品評価に関する研究（第3報）”，岐阜県情報技術研究所報告，第11号，pp.53-57，2009。
- [3] 村澤七月，口田圭吾，大澤剛史，堀武司，加藤浩二，“黒毛和種去勢牛ロース芯を4分割に分割したときの各領域における脂肪交雑の特徴および遺伝的パラメータ”，日本畜産学会報，Vol.79，No.3，pp.343-351，2008。
- [4] 大倉力，朴善姫，西岡輝美，入江正和，“近赤外分光法による肉豚脂質評価装置の開発”，照明学会誌，第93巻，第8A号，2009。

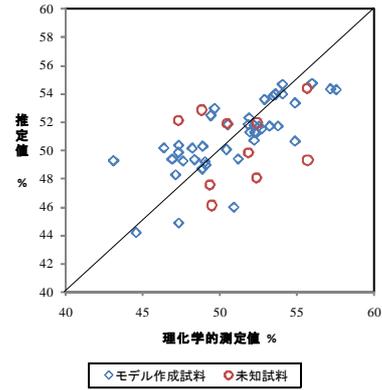


図8 理化学測定値と推定値との関係

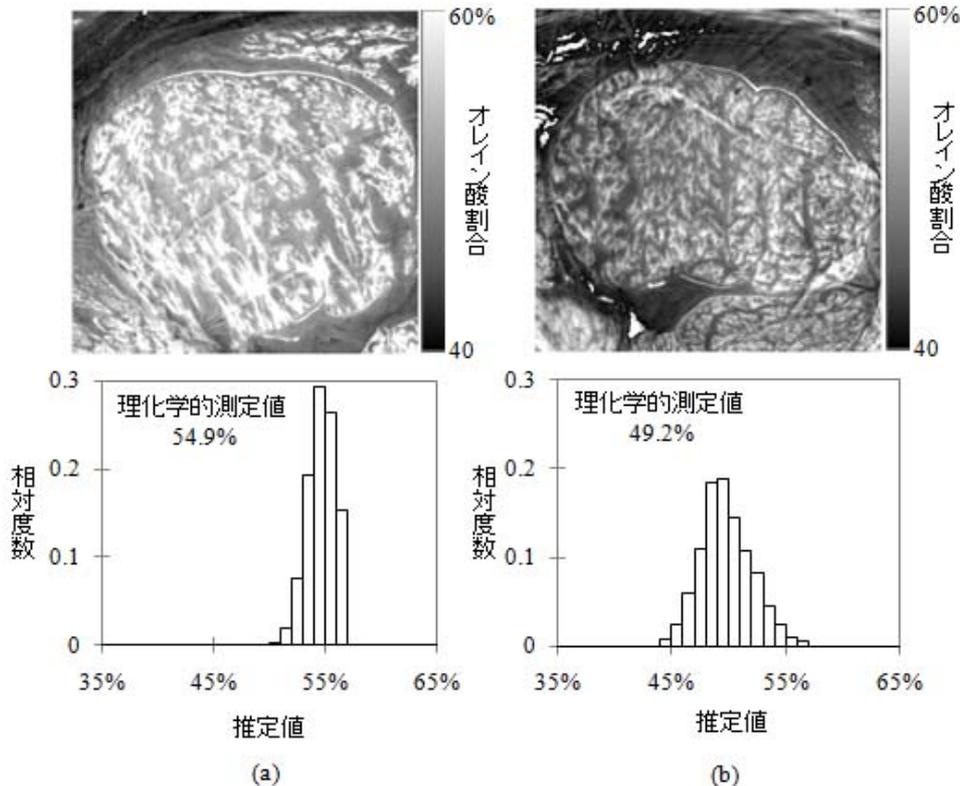


図9 脂質評価装置によるオレイン酸割合分布画像とヒストグラム