

画像を用いた食品評価に関する研究 (第3報)

田中 等幸 丸山 新* 赤塚 久修 松原 早苗 棚橋 英樹

Research of Food Valuation with Image Analysis (3rd report)

Tomoyuki TANAKA Shin MARUYAMA* Hisanobu AKATSUKA
Sanae MATSUBARA Hideki TANAHASHI

あらまし 近年、各地で食品の信頼性の向上や高付加価値化に対する取り組みが行われているが、岐阜県においても県産品のおいしさを客観的かつ定量的に評価することが求められている。牛肉の評価は、脂肪交雑など外観の良さが重視されているが、肉眼では判断が難しい脂質も評価することが注目されている。本研究では、画像を用いて、牛肉に含まれるオレイン酸割合を非破壊かつ迅速に測定する手法の開発を目的とする。近赤外カメラによって胸最長筋（ロース芯）の画像を取得し、理化学分析値との関係から検量モデルを作成した。次に、未知試料の画像からオレイン酸割合の分布画像を作成し、理化学分析値と提案手法による予測値がおおむね一致した。さらに、食味官能評価試験を実施し、提案手法と食味評価との傾向が一致することを確認した。

キーワード 食品評価、牛肉、オレイン酸、近赤外画像

1. はじめに

1. 1 食品の品質評価の動向

食品工業の分野では、食品成分の定量分析や判別分析など品質管理技術に関する研究が多く行われているが、理化学的特性を測定するためには多くの時間や労力を必要としている。しかしながら、農業分野における非破壊測定技術は発展し、光学センサによる選果装置やカメラ画像を用いた着色や傷の選別技術が研究開発されている^[1-2]。特に、流通分野においては、ミカンやリンゴなど果実類の酸度や糖度を瞬時に測定し、測定結果を消費者に提供するサービスを提供している。これにより、見た目の良さに加えて、「おいしさ」をPRするとともに、商品の信頼性の確保や高付加価値化のための新たな取り組みが各地で行われている。

1. 2 牛肉の品質評価と脂質測定の課題

近年、日本人の肉食文化は定着し、1960年以降、食肉の消費量の増加はめざましく、その増加幅は他の先進国の多くを上回っている^[3]。特に、牛肉は家計消費の割合が高く、日本人の肉食志向を牽引している食材であるが、その品質評価は牛枝肉取引規格によって決定されている。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、肉の締まり及びきめ、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に影響を及ぼしていることが知られている^[4]。このような背景から、従来の肉質評価に加えて、脂質を評価することで、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、理化学的分析装置による破壊試験である。そのため、装置にかけるためにはミンチ状に粉碎するなどの段取りを必要とし、測定値を得るためには多くの時間を要する課題がある。

そこで本研究では、牛肉を破壊することなく、また手間をかけず、迅速に牛肉表面に分布する脂質成分(以下、オレイン酸割合)を定量的に測定する手法を開発する。さらに、開発した測定手法を用いて、食味官能評価との関係について検討する。

2. 提案手法

農産物を破壊することなく、理化学的特性を測定する方法として実用化例が多いのは、近赤外光を用いた光学的方法である。近赤外光の波長帯域はおおよそ800nm～2500nmと定義される。近赤外光は、食品の主成分(水、脂肪、デンプンなど)の化学的帰属性を反映するとされ、成分に基づく吸収帯が多く観察されている^[5]。そこで、

* 岐阜県畜産研究所

近赤外分光法と画像解析手法を応用し、牛肉の成分分布を可視化する測定法を提案する。従来手法と提案手法との比較を図1に示す。従来手法は肉片の一部を破壊し、ミンチ状に粉碎した試料を理化学分析装置にかけ測定値を得る。これに対し、提案手法は、牛肉をカメラ撮影するのみで、手間と時間をかけず測定することができる。提案手法を枝肉市場へ適用する場合、3つの利点があげられる。1つめは、牛肉を破壊しないため、全頭評価が可能となる。2つめに、牛肉表面に分布する成分の広範な多点測定が可能であるため、脂肪交雑の評価と同様に枝肉横断面の評価が可能である。3つめは、肉眼では評価が難しい脂質を評価項目とすることで、新たな評価指標の一つとして期待される。

本研究では、近赤外分光法と画像解析手法を応用し、近赤外画像を用いて、牛肉に含まれる成分を簡単かつ迅速に可視化する面分布測定法について提案する。

3. 検量モデルの作成と評価

3.1 供試牛

岐阜県の枝肉市場に上場された黒毛和種のリブローズ8頭を実験材料とし、スライスした牛肉を冷蔵庫で1日以上冷蔵したものを供試する。

3.2 実験手順

試料は村澤らの分割手法^[6]を用いて、図2に示すように牛肉のローズ芯を4領域に分割する。まず、ローズ芯の輪郭を抽出し、抽出した輪郭距離の最長となる2点間を長軸とし、長軸に直交しかつ、重心位置に最も近い2点間の距離を短軸とする。この2軸によって分割される右上を1象限、左上を2象限、左下を3象限および右下を4象限とする。

図3に実験手順を示す。実験は検量モデルの作成および検量モデルの評価で構成される。検量モデルの作成は、1試料に対し、次節で詳述する分光画像撮影および理化学的分析を行う。この操作を5試料分繰り返す。各象限の分光画像の反射率（領域内中間値）と理化学的分析値との相関が高い波長の組み合わせを同定し、モデル式（以下、検量モデル）を作成する。検量モデルは従属変数をオレイン酸割合の理化学的分析値、説明変数を領域内の反射率とする重回帰分析によって求め、オレイン酸割合と反射率との相関係数が高い2波長を選択する。選択波長を2波長としたのは、選択波長数を増やすことによる過剰適合や画像処理時の複雑さを簡素化するためである。モデル式を次に示す。

$$c = k_0 + k_1 R_1 + k_2 R_2 \quad (1)$$

ここで、 c はオレイン酸割合の予測値%， R_1 、 R_2 はそれぞれ第一選択波長 R_{1nm} 、第二選択波長 R_{2nm} における反射率、 k_0 、 k_1 および k_2 は理化学的分析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。



図1 従来手法と提案手法との比較

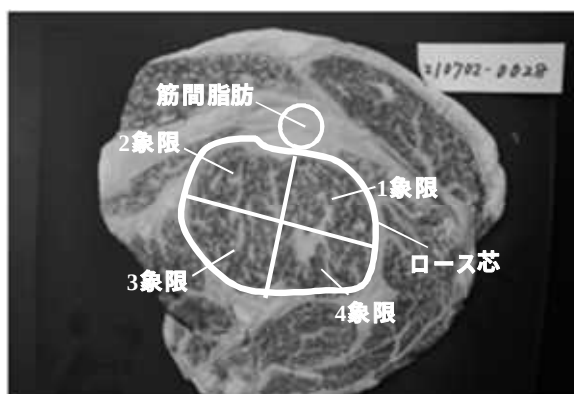


図2 ロース芯の領域分割図

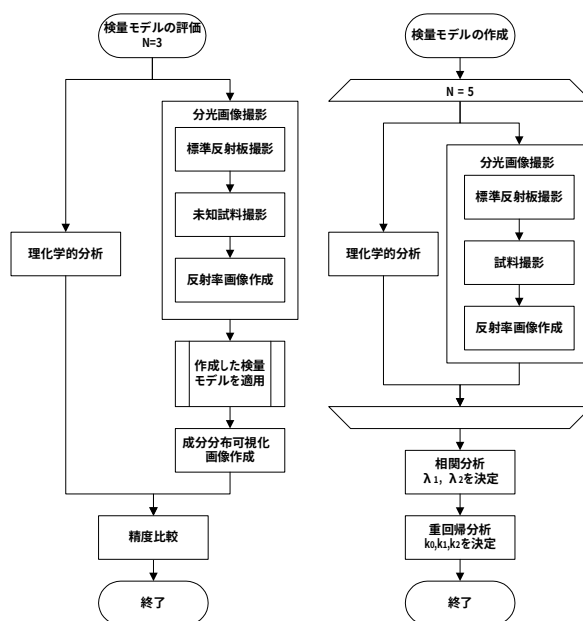


図3 実験手順

次に、作成した検量モデルの精度を評価するため、未知の3試料に対して、検量モデル作成手順と同様に分光画像撮影と理化学的分析を行う。分光画像撮影後、反射率画像を作成し、これに作成した検量モデルを適用することで、オレイン酸分布可視化画像を作成する。試料の各

象限における理化学的分析値とオレイン酸分布可視化画像の領域内中間値とを比較し、検量モデルの精度を評価する。なお、精度は相関係数Rおよび予測値の標準誤差SEPによって評価する

3.3 分光画像撮影及び反射率画像作成

図4に撮影装置の装置構成を示す。撮影装置の構成は冷却CCDカメラ（Apogee社製 Alta Uモデル）、分光器（Cri社製 VariSpec NIR）および光源（林時計工業社製 TKG-1051-1500）から構成される。冷却CCDカメラは近赤外帯域に感度を持ち、各画素において65,535階調の高精細な輝度値を取得できる。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の光を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カメラを設置する。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、試料の表面が均一に照射する位置に固定する。

波長間のカメラ感度やフィルタ透過特性の違いを均一とするため、標準反射板（ミクロ社製 BN-R98-SQ12）を用いて露光時間の調整を行った後、700～1050nmまでのバンドパス透過帯域を10nm刻みで掃引し、標準反射板および試料を撮影する。試料の分光画像を標準反射板の分光画像で除算し、分光反射率画像を作成する。これにより、異なる透過波長帯域で撮影した分光画像間の反射の程度を比較することが可能となる。

3.4 理化学的分析

分割領域ごとに切断した肉片と主軸の端部に接する筋間脂肪をそれぞれミンチ状に粉碎する。粉碎した試料0.5gを15mlの試験管に秤量し、25%水酸化カリウム－エタノール溶液5mlを加え、90℃で2時間加熱し鹼化する。試験管に水6mlを加えた後、n-ヘキサン15mlで脂質を除去する。水層を塩酸にて酸性にし、n-ヘキサン10mlを加え、1分間振とう抽出する。ヘキサン層を採取し、窒素ガス気流下40℃で乾固後、0.05mol/Lフェナシルプロマイド100μl、トリエチルアミン100μl、エタノールを加えて2mlとする。60℃で2時間加熱し、フェナシルエステル化によって高速液体クロマトグラフ（以下、HPLC）用試料とする。HPLC（島津製作所社 SPD-10AV）はカラム（島津製作所社 Shim-pack FC-ODS）、移動相にpH2.6の0.01mol/Lリン酸塩緩衝液/アセトニトリル(20:80, v/v)を用いて測定波長254nmで脂肪酸組成を分析する。同定する脂肪酸はミリスチン酸（C14:0）、ミリストレイン酸（C14:1）、パルミチン酸（C16:0）、パルミトレイン酸（C16:1）、ステアリン酸（C18:0）、オレイン酸（C18:1）およびリノール酸（C18:2）である。なお、総脂肪酸に占めるオレイン酸をオレイン酸割合とする。

4. 提案手法による実験結果

4.1 牛肉ロース芯の分光画像と近赤外スペクトル

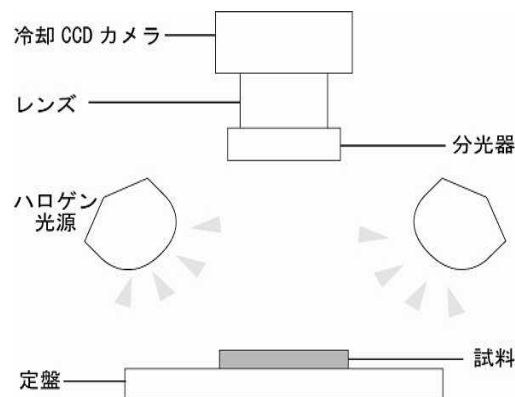


図4 撮影装置

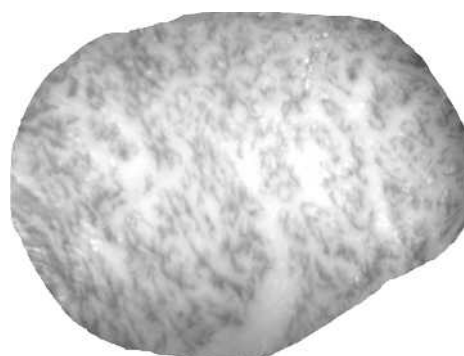


図5 ロース芯の反射率画像（透過中心波長930nm）

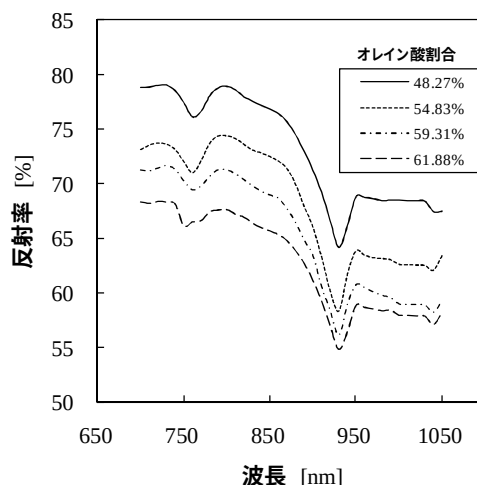


図6 筋間脂肪の近赤外スペクトル

図5は液晶チューナブルフィルタの透過中心波長を930nmにしたときのロース芯の反射率画像である。画像の濃淡は反射率の高い画素を白色、反射率の低い画素を黒色として描画した。

牛肉は、水分、タンパク質、脂質など複数の成分が含まれる^[4]。そのため、脂質成分以外の情報が含まれにくい筋間脂肪部位を対象として、オレイン酸割合の異なる試料の近赤外スペクトルを求めた。図6は筋間脂肪部位における700～1050nmまでの平均反射率を示しており、オレイン酸割合が高い試料ほど近赤外スペクトルは下にシ

フトする傾向にあった。これにより、近赤外波長帯域においてオレイン酸割合と近赤外画像による反射率との間に負の相関が示唆された。また、スペクトルの形状から760nm付近、930nm付近および1040nm付近に下向きのピークが確認された。これらの波長は、C-H結合に由来する吸収帯であることが知られている。なお、腎臓周囲脂肪を用いた実験結果と一致した^[7]。したがって、検量モデルを構成する選択波長として、相関係数が高い順に930nmおよび1040nmの2波長を選択した。

4.2 検量モデルの作成および評価

選択波長における反射率とオレイン酸割合による重回帰式(1)によって、検量モデルを作成した。検量モデルによって計算されたオレイン酸割合の予測値と理化学的分析値との散布図を図7に示す。検量モデルの相関係数Rは0.866、検量モデル作成時の予測標準誤差SEPは1.049となった。検量モデルの誤差の要因として、試料の表面状態や内部構造の違いによる拡散反射の影響が考えられる。また、選択波長とオレイン酸との帰属関係を調査することで検量モデルの安定性が増すと考えられる。今後、オレイン酸以外の脂肪酸に対する近赤外スペクトルへの影響や試料の温度変化による反射率画像や精度への影響な

どについて詳細に検討する必要がある。

4.3 オレイン酸分布画像の作成

検量モデルを未知試料の反射率画像に適用し、オレイン酸割合の分布画像を作成した。図8はオレイン酸割合の

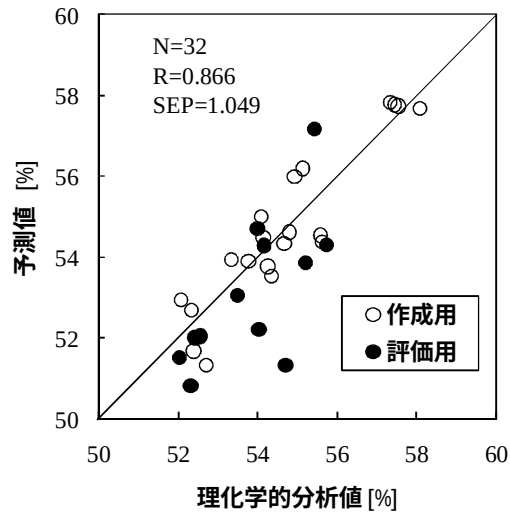


図7 ロース芯内オレイン酸割合の理化学的分析値と提案手法による予測値の散布図

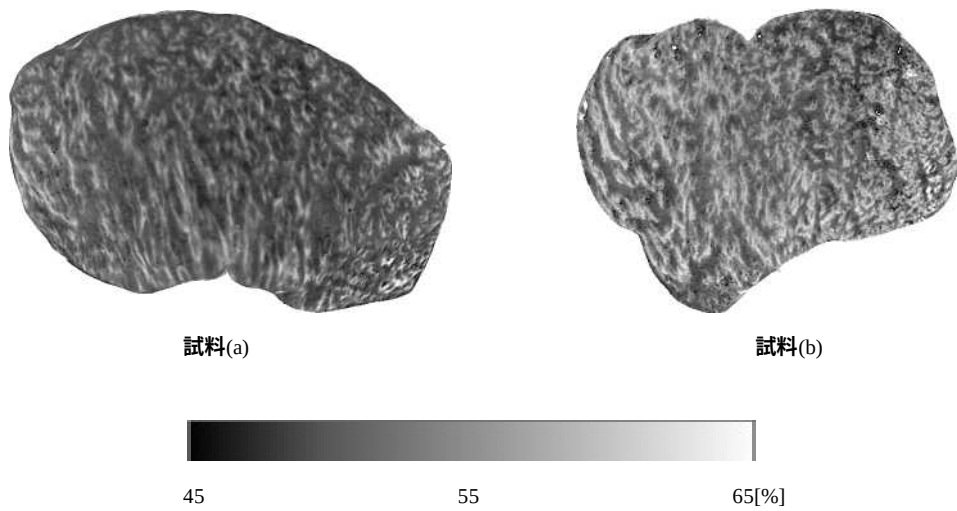


図8 ロース芯内のオレイン酸割合分布画像

表1 ロース芯の分割領域ごとの理化学分析値と予測値との比較 [%]

試料(a)	1象限	2象限	3象限	4象限
理化学的分析値	52.97	52.72	51.36	51.70
提案手法による予測値	51.77	52.20	52.47	51.91

表2 ロース芯の分割領域ごとの理化学分析値と予測値との比較 [%]

試料(b)	1象限	2象限	3象限	4象限
理化学分析値	54.31	57.19	54.34	53.88
提案手法による予測値	53.84	55.16	54.99	55.17

理化学的分析値が異なる2試料（試料(a), 試料(b)）において、オレイン酸割合45～65%の範囲をグレースケール描画した例である。画像内の色は、黒色から白色になるにしたがって、オレイン酸割合が高くなることを示す。また、2試料におけるロース芯の分割領域ごとの理化学的分析値と予測値（領域内中間値）との比較をそれぞれ表1, 表2に示す。図8から試料(a)は試料(b)と比べ、試料全体的にオレイン酸割合の低い様子が確認できる。また、理化学分析値と提案手法による予測値はほぼ一致した。可視画像や肉眼では牛肉表面に広がる脂質成分や分布を確認することは困難であるが、提案手法によってロース芯内におけるオレイン酸割合の分布が視覚的に確認できた。また、従来の理化学的分析は、肉の成分構造は測定対象としない単点測定（肉片の平均値）であるが、提案手法は、試料の構造を損失しないため、オレイン酸割合の成分値のみならず、試料全体の成分分布の解析が可能である。なお、分光画像からオレイン酸分布画像を作成に要した時間は18.5秒であった。

5. 食味官能評価試験

提案手法による解析結果と食味官能評価との関係を調査するため、食味官能評価試験を実施した。試験方法は食肉の官能評価ガイドラインを参考とした^[8]。試料は熟成期間を同一とする2種類（試料L, 試料O）の黒毛和種去勢牛のロース（いずれも格付値A5）とした。調理方法はしゃぶしゃぶとし、薄くスライスされた牛肉約50gは、沸騰した熱湯中に9秒間ゆでて、直ちに官能パネルに供した。たれは評価の妨げにならない味付け用ポン酢を小皿で別添した。官能パネルは消費者など24名とし、香り、やわらかさなど10項目について8段階尺度で評価した。

官能パネルによって評価された2試料の項目別平均点のプロットを図9に示す。試料Lと試料Oは甲乙つけがたい評価であったが、試料Lは試料Oに比べて、オレイン酸との関係が深い「(1)香り」、「(4)やわらかさ」、「(5)脂の程度」についての評価点が高かった。特に、「(4)やわらかさ」と「(5)脂の程度」については有意差 ($p<0.05$) を確認した。図10に2試料のロース芯中心部位の画像解析結果（図10(a)）を示す。解析結果はグレースケール表示であるため、試料L, 試料Oの明暗の差を目視によって、判断することは困難であった。しかし、両者の理化学分析値と画像解析値を比較した結果、試料L, 試料Oの理化学分析値はそれぞれ、54.09%, 50.73%であったのに対し、画像解析によるロース芯内平均値は53.12%, 51.97%であり、オレイン酸割合の傾向は一致した。これにより、オレイン酸割合が高いほど食味性が良いとする従来の報告と一致するとともに、解析結果と食味官能評価試験結果はおおむね一致した。今後、ロース芯に分布するオレイン酸割合と食味との関係について検討したい。

6. まとめ

本研究では、牛肉のおいしさの一要因として知られるオレイン酸を非破壊かつ迅速に定量化する測定手法を開発した。食品成分の定量分析手法として利用されている近赤外分光法に着目し、近赤外帯域に感度を有する冷却CCDカメラと任意の波長の透過を可能とする分光器の組み合わせによって、牛肉に含まれる成分を可視化する面分布測定法を提案した。ロース芯の分光画像を取得し、反射率と理化学的分析値との相関が高い波長を同定し、検量モデルを作成した。次に、未知試料に対し、検量モデルを精度評価した結果、相関係数0.866, 予測標準誤差1.046を得た。さらに、食味官能評価との比較試験を行い、提案手法による解析結果と食味官能評価がおおむね一致した。

謝 辞

本研究の一部は科学技術振興機構（JST）地域イノベーション創出総合支援事業、重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）「牛肉の脂質評価法の開発と応用」により実施した。

文 献

- [1] 中畠輝子, 吉川公規, “イメージング分光によるウンシュウミカン果実の腐敗検出装置の開発”, 日本食品工学会誌, Vol.53, No.11, pp. 555-560, 2006.
- [2] 山田久也, 田中信明, 高田咲子, “イチゴ非破壊品質測定装置の実用化”, 照明学会誌, Vol.93, No.5, pp. 273-277, 2009.
- [3] 沖谷, “肉の科学”, 朝倉書店, pp.1-58, 2007.
- [4] J.D.Wood, R.I.Richardson, G.R.Nute, A.V.Fisher, M.M.Campo, E.Kasapidou, P.R.Sheard, M.Enser, “Effects of fatty acids on meat quality: a review”, Meat Science, Vol.66, pp.21-32, 2003.
- [5] 岩元, 河野, 魚住, “近赤外分光法入門”, 幸書房, pp.40-61, 2002.
- [6] 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.
- [7] 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”, 岐阜県情報技術研究所報告（第2報）, 第10号, pp.54-57, 2009.
- [8] 入江ら, “食肉の官能評価ガイドライン”, 日本食肉消費総合センター, pp.1-37, 2005.

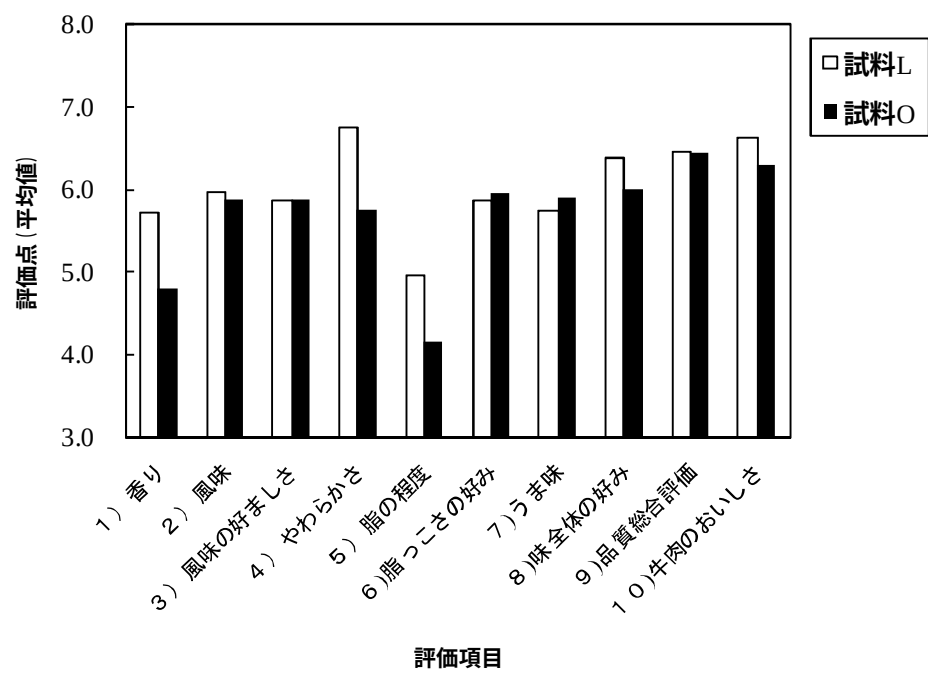


図9 官能パネルによる評価

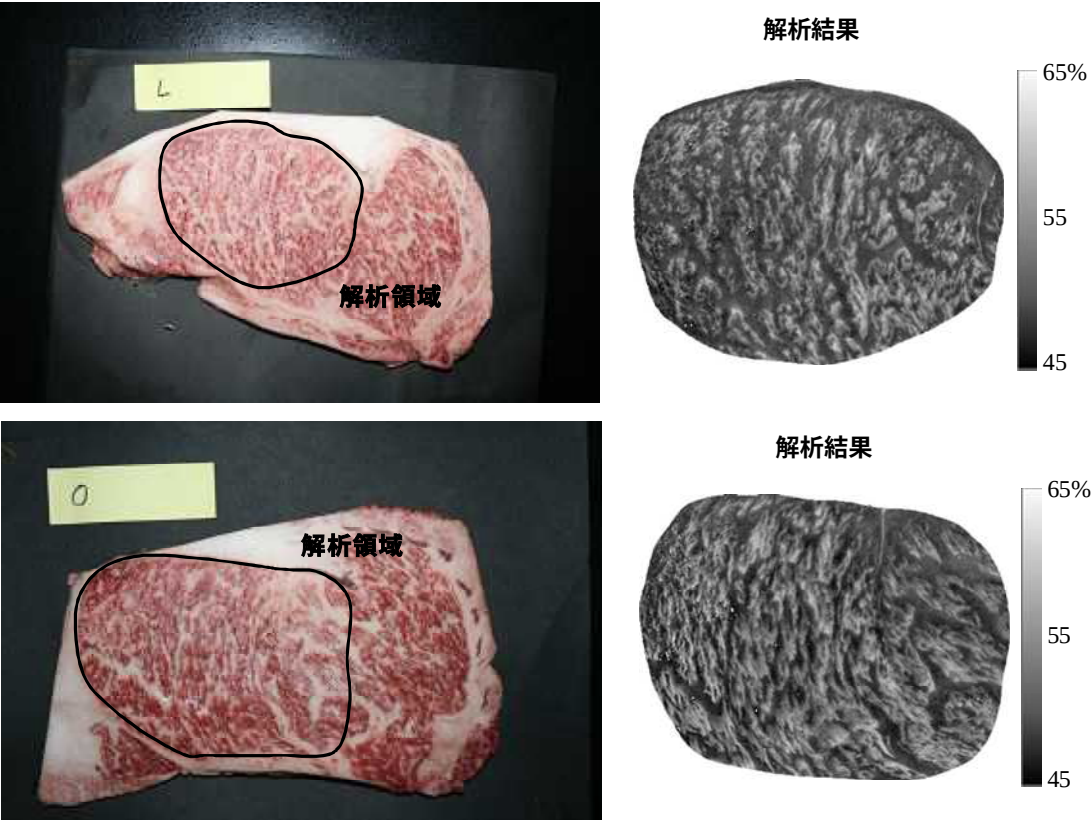


図10 ロース芯の解析領域と画像解析結果