

豚肉色評価装置の開発

浅井 博次 松原 早苗 吉岡 豪*

Development of Pork-Color Digitization Device

Hirotsugu ASAI Sanae MATSUBARA Go YOSHIOKA

あらまし 養豚では、種豚の育種改良の効率化、豚肉品質の維持・向上のため、簡単・迅速に豚肉の肉質を客観的かつ定量的に評価することが求められている。肉色は食肉を評価する重要な要素であるが、現状、目視による主観評価によって行われており、個人差などによる評価のばらつきが懸念される。そこで、デジタルカメラを用いて対象の豚肉を撮影することで肉色を客観的に評価することが可能な携帯型装置の開発を目指す。本報では、装置開発に向けて行った基礎検討について報告する。

キーワード 豚肉, 肉色, 定量化, デジタルカメラ

1. はじめに

養豚業では、飼料の高騰などにより生産コストが上昇している中、景気低迷などを受け良質で安価な豚肉への需要が高まっている。良質な肉を安定供給するためには、おいしい赤肉(脂肪やスジが少なく赤く見える肉の部位)の効率的生産を可能とする種豚の育種改良が重要である。現状、肉質評価の多くは格付員の主観評価によって行われている。しかし、人による評価の場合、個人差や体調・気分・疲労などによる評価のばらつきが懸念されることから、客観的な方法による評価が望まれている。そこで本研究では、客観的データに基づいた効率的な育種改良推進に向け、デジタルカメラを用いて対象の豚肉を撮影し、撮影した画像を評価することで食肉の品質評価で重要な肉色を客観的に評価可能な装置の開発を目指す。

2. 肉色について

2. 1 『色』の計測

色の最も特殊な点は、「この色は〇〇色だ」と決定する要素の中に、人の感覚である『視覚』が含まれている点である。色は「人がその色をどんな色だと感じるか」に基づいて数値化されている。光源から物体に照射された光が、物体によって反射・透過される。その光を人が目を通して知覚することによって、人が物の色を認識する。つまり、物の色は、光源、物体、視覚によって決定され、「環境A下においてBという方法で観測した時の色」として認識される。そのため、「人が認識する」色は、光源、背景、見る方向、観察者、対象の大きさなど、実に様々

なものの影響を受け、見え方が大きく変化する。

色を数値化し、比較・評価に活用するためには、色を観測する条件を統一することが非常に重要となる。また、その色が「ある条件下での色」であることに留意する必要がある。

2. 2 食肉品質の評価指標：肉色

食肉の品質は、食肉を食べた時に視覚、嗅覚、触覚および味覚を通じて感じる総合的な感覚(=食味性)によって評価される。食味性は、(1)肉色、(2)保水性、(3)テクスチャ(肉の物性全般、主に硬さ)、(4)フレーバー(香りと味)の4成分に大別される^[1]。肉色は食味性を決定する重要な要素の一つなのである。実際、消費者が肉を購入する際に肉色を重視している^[2]。また、食肉流通で使用されている豚枝肉取引規格^[3]の中でも、肉色は豚肉の肉質を評価する項目の一つとして規定されている。後述するが、肉色はPSE肉、DFD肉などの異常肉との間に明確な相関があることが分かっている。つまり、食肉の品質評価と流通戦略の双方において、肉色は非常に重要な要素なのである。

2. 3 異常肉と肉色

赤肉の異常として代表的なのがPSEとDFDである。PSE肉はむれ肉、ふけ肉、ウォータリーポークとも言い、肉色が淡く(Pale)、柔らかくて締まりがなく(Soft)、水っぽい(Exudative)肉のことである。と殺前に強いストレスにさらした際に発生し易い。一方、DFD肉は肉色が暗く(Dark)、硬く(Firm)、水気がない(Dry)肉のことである。と殺前の長時間絶食、輸送、と殺前の取扱いなどによる疲労やストレスの影響で発生すると言われている。豚肉を肉色で評価すると、PSE肉とDFD肉は両端に位置しており、肉色による選別が容易である。肉色がPSEとDFDの間にある豚肉の中にも、RSE (Red-dish-pink, Soft, Exu-

* 岐阜県畜産研究所

dative), PFE(Pale, Firm, Exudative), PFD (Pale, Firm, Dry)などの異常肉が存在している。これらの異常肉は、肉色と表面状態から判別するのが一般的である。

このように、肉色は異常肉の判別に使用されている。しかし、豚肉は産地や品種によって肉色が大きく異なるため、肉色に対する1つの基準ですべての豚肉から異常肉を的確に判別することはできない。対象とする豚の産地・品種に応じて肉色の評価基準を設定する必要があり、そのためにも、わずかな色の違いを客観的に評価する方法が望まれている。

2. 4 肉の変色

肉は、時間の経過等により色が変わっていくことが知られている。と殺直後は紫がかかった赤色であるが、その肉を切って空気に触れさせておくと、だんだんと鮮紅色に変化(ブルーミング現象)する。更に長時間放置し続けると、鮮紅色から茶褐色に変化(メト化)する。そのため、と殺後一定時間が経過し、ブルーミングによる色の変化が収まった時に評価するなど、肉色の変化が抑制された条件下で評価することが肝要である。

2. 5 肉色評価の現状

豚肉の肉色検査は、主に図1に示す畜試式豚肉標準肉食模型(ポークカラースタンド(PCS))を用いた視感評価により行われている。6段階の色模型と比較し、1(淡色)から6(濃色)の値で色が数値化される。育種改良等による肉質の向上に伴い、ほとんどの肉が3(理想色)と評価されるようになったこともあり、近年では小数点以下1桁までの数値で肉色を評価するようになってきている。

しかしながら、視感による評価では、検査者の主観や体調による感覚のずれによる影響を排除できず、評価結果の信頼性・客観性に問題がある。特に、小数点以下の値は見比べる色見本がないため、検査者によるバラつきが大きいものと思われる。また、人の目には色順応という自動調節機能があり、連続して色比較判定作業を行うと判定性能が低下する、という点にも考慮が必要である。

JIS Z 8723(表面色の視感比較方法)には、色比較手順の他、作業面の色や作業空間内面の色などの観察作業環境が詳細に規定されているが、屠畜場などの評価現場で規格を満たす環境を構築するのは容易ではない。また、豚は牛と比べて一日に処分される数が多いため、屠畜場では迅速に多量の検査をする必要がある。検査環境構築だけでなく、検査の作業量・作業時間の点からも、信頼

ポークカラー・スタンダード(胸最長筋における肉色判定)



図1 ポークカラースタンド

出典：豚枝肉取引規格の概要^[3]

性の高い肉色検査の実施は非常に困難であり、迅速・簡単に行うことのできる客観的肉色評価方法が望まれている。

3. 肉色評価装置の検討

3. 1 開発方針

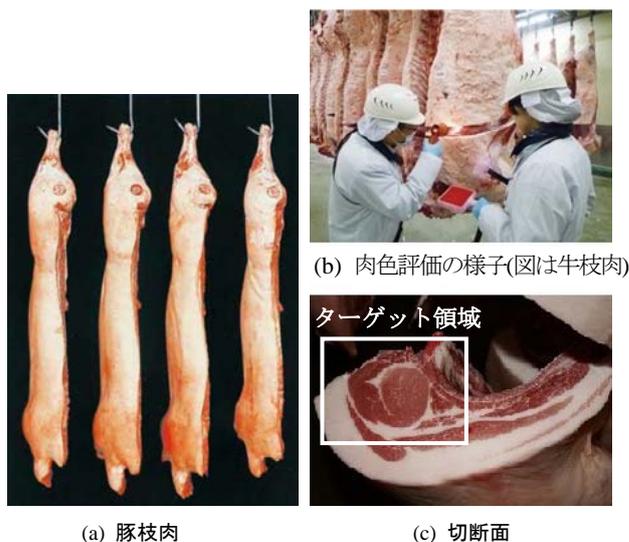
本研究では、効率的な育種改良を可能とするための肉質評価を指向していることから、屠畜場での利用を想定した肉色評価装置のシステム化の検討を進めている。屠畜場では色彩計測の専門家でない作業者が大量の検査を実施しないといけないことから、作業者の注意に頼ることなく、無意識に撮影条件の変動を抑制できる装置が望ましい。そこで、色を変化させる要因を極力排除し、検討すべき項目を限定することで、装置開発の効率化を図る。

3. 2 装置概要

開発する装置では、枝肉を切り開いた切断面(図2(b), (c))をデジタルカメラで撮影し、ロース芯領域の肉色を定量化する。また、上記方針に従い、以下の通りとする。

- ① ロース芯全体を大きく撮影できるように、撮影サイズを図中四角で囲った15cm×20cm程度とする。
- ② 光源変動を抑制するため、撮影環境を筐体で覆うことで疑似的な暗室を作り出し、その中で撮影が可能な携帯型システムとする。
- ③ 撮影対象までの距離や撮影方向を固定するため、装置を切断面に接触させて撮影する。
- ④ 切断面の凹凸の影響を抑制し解像度が均一な画像を取得するため、切断面と対向する方向から撮影する。

解体された枝肉は、図2(a)のように吊り下げられており、自重等による切れ目拡大懸念もあり、切断面はあまり



(a) 豚枝肉

(c) 切断面

図2 枝肉

出典：(a) 豚枝肉取引規格の概要^[3]

(b) 牛枝肉取引規格の概要^[4]

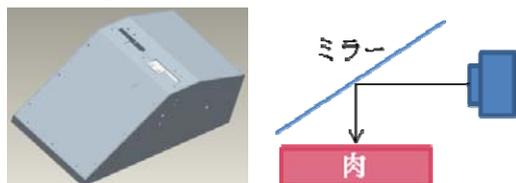


図3 装置イメージ

り広くない。この限られた空間に装置を差し込んで撮影する必要があるが、切断面鉛直方向に撮影に必要なカメラとの距離を確保できないため、④を実現できない。そこで、ミラー型の撮影機構を採用し、くさび形の外形とすることでカメラから切断面までの距離を確保しつつ、装置の高さ方向のサイズを抑える（図3）。

3. 3 使用光源

LEDは従来照明と比べ耐久性が高く、経時変化も小さいことから、画像認識用照明として広く利用されている。しかし、色認識用照明として考えると、素子間の特性にバラつきがあること、素子温度の変化によって明るさや色ずれが発生することなどの特徴について、配慮が必要である。前者は、素子選別により対応可能である。また、後者は、放熱設計を適切に行うことで対応する。

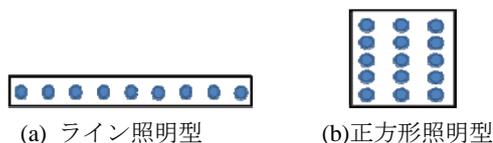
一般的な白色LEDの発光分布は青色成分が極端に強く、赤色成分が弱いという特徴があることから、上記特徴による微小な特性の変化が色認識に影響する可能性が考えられる。そこで、一般の白色LEDと比べ分光分布がなだらかに連続しており、一部の波長で突出した強度を有することが少ない高演色型白色LEDを採用する。演色性とは、基準光源（太陽光（CIE昼光）または黒体放射）下とくらべて対象光源下での色の見え方がどの程度変化するかを示す指標である。先述の通り、色の見え方は光源によって変わるため、必ずしも基準光源下での色の見え方にこだわる必要はない。しかし、高演色型白色LED光源の使用により人が認識している色に近い画像が記録できることで、肉色評価結果である数値と対象肉画像とを直感的に紐付け可能となるなどの効果も期待できる。

また、採用するLEDはCOB(Chip On Board)型とする。従来の砲弾型LEDは指向性が強く、直接照射による輝度ムラは大きな問題であった。しかし、COB型LEDは狭い場所にLEDがたくさん敷き詰められており、単体で面光源を構成できる。高輝度で影ができにくく、指向性も120°程度のもので発売されており、少ない光源数で輝度ムラを抑制した照明が可能になる。

3. 4 光源配置

本装置により色を評価したいのは、点ではなく領域（コース芯）であるので、対象領域の輝度ムラを極力少なくすることが肝要である。そこで、簡易な試作装置を製作し、照明の当て方について簡単な検討を行った。

使用した照明は、約1.65cm間隔に9個のLEDを並べたライン照明と、LEDを5行3列で15個並べた正方向照明（縦1.0cm間隔、横1.65cm間隔）の2種類である（図4）。それぞ



● 図4 使用した照明

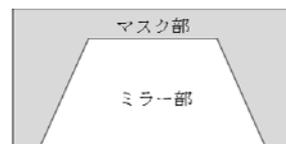


図5 反射ミラーのマスク例

れ、手で持って任意の場所から照射し、撮影面に設置した標準白色版を撮影した画像によって評価を行った。

反射用ミラーとカメラは、15cm×20cm程度の領域を撮影できるよう配置した。また、反射用ミラーは、コース芯の撮影に必要な領域以外にマスクを施し（図5）、周辺環境に依存した不要な光の反射を抑制した。

検討した結果、留意すべき2つの知見が得られた。1つ目は、装置内部素材の反射特性による違いが撮影領域の輝度ムラに大きな影響を与えることである。図6(a)は照明を装置内部上面に設置した反射板に向け、撮影領域へ間接照射を行った時の画像である。左下から中央上部に向けて見られる線は反射ミラーのマスク部と非マスク部の境界によるものである。輝度ムラの大きさは照明を向ける向きにも依存するが、容易に知覚可能な輝度ムラが発生していることが分かる。

もう一つは、撮影対象からの反射により照明の映り込みが発生することである。図6(b)は標準白色版のかわりに、正反射が発生しやすいアクリル板を設置して撮影した画像であるが、照明がクッキリと映り込んでいるのがわかる。2種類の照明をさまざまな位置に配置して確認してみた結果、映り込みを排除するためには、装置中央から横方向に20cm以上照明を離す必要があることが確認できた。

得られた知見に基づき、ライティングは装置内部の素材・形状の影響を受けにくい直接照射とすることに決定する。照明の形状・個数については、次年度制作予定の一時試作装置を用いた検討で決定していく予定である。一時試作では、今回得られた知見に基づき、光源配置、装置内部の反射板配置等を柔軟に変更し評価・検討できるよう、あらかじめ内部の保持機構を用意しておく予定である。



(a) 反射特性差による影響 (b) 照明の映り込み

図6 輝度ムラ評価例

3. 5 肉色定量化手法

PCSは流通している豚枝肉を色差計で計測したデータに基づき、食肉および養豚関係者の意見を参考にして作製されている^[5]。設計当時からかなりの時間が経過し、先述のとおり流通している豚肉の肉色が当時から変化しているものの、実測に基づいて設計されていること、現在も活用されている基準であることなどから、豚肉の肉色を表現する基準として有効であると判断した。設計値の $L^*a^*b^*$ は文献^[5]に記載があるが、現状確認のため分光測色計（コニカミノルタ製CM-3600d）でPCS(2個)を計測した。結果を図7に示す。

計測したサンプルでは a^* 、 b^* で均一に値が変化していない箇所が見られ、PCS2-3間、4-5間の色差が小さくなっていった。この傾向はSCI(正反射光込み)、SCE(正反射光除去)でも同様である。PCS表面には豚肉と質感を合わせるために細かな凹凸が入れられているが、これが計測サンプル間の計測値に差を生じさせている主要因であると思われる。設計値とは大きく異なっているものの、 $L^*a^*b^*$ の各値がほぼ単調変化している傾向が確認できたことから、実際に流通しているPCSの色である本測定結果を参考に、肉色を定量化するための基準色を決定することとした。決定した基準色票の設定について、図8に示す。

$L^*a^*b^*$ 色空間内でPCSカラーが分布する方向を基準軸とし、基準軸に直交する2軸を任意に設定、対象とする豚肉の肉色が分布すると思われる領域を囲うように合計7色を基準色として設定した。基準軸では、流通している豚肉の肉色がほとんどPCSカラーの中央に集中していることを考慮し、測定結果をもとに、PCSカラーの両端であるPCS1とPCS6、および中心の色を基準色として選定した。その結果、基準軸における色票間の色差は13.135

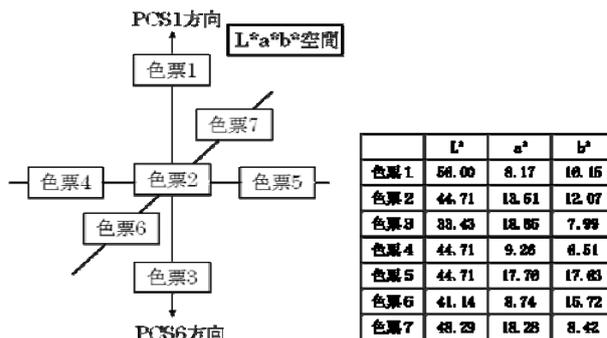


図8 基準色票の設定

となった。基準軸と直交する軸の色票については、基準軸より色のばらつきが小さいことを想定し、中央の色票2からの色差が7となるよう設定した。

基準色票7枚は評価ターゲットであるロース芯全体の領域をカバーできるサイズとして、無光沢A4サイズのもの財団法人日本色彩研究所より手配した。入手した色票を格子状に12点、分光測色計（コニカミノルタ製CM-3600d）で計測し、空間的な色のバラつきを評価した。その結果、すべての色票において色差が0.52以下（計測径4mm、および8mm）であった。この値は色の許容差を色差値で表した基準の一つ、AAA級許容誤差色差（色差の範囲0.4~0.8、厳格な許容差の規格を設定できる限界）の範囲内であることから、入手した色票のすべての領域を均一な色であるものとして扱うことが可能であると考え、基準色票7枚を制御された環境下で撮影した撮影データをもとに、線形補間により肉色を推定・数値化する方法を採用することとする。

4. まとめ

本稿では、豚肉の肉質評価における客観的な肉色定量化の必要性を整理し、肉色定量化のために行った基礎検討について報告した。次年度以降は、基礎検討結果に基づいた試作を行い、実際の肉を使って評価検討を進める予定である。

文献

- [1] 安井勉，“肉質に関する若干の問題”．日本畜産学会北海道支部会報第28巻第2号，p23-32，1986
- [2] “「食肉に関する意識調査」報告書”、公益財団法人日本食肉消費総合センター、平成26年度
- [3] “豚枝肉取引規格の概要”、公益社団法人日本食肉格付協会、平成26年7月
- [4] “牛枝肉取引規格の概要”、公益社団法人日本食肉格付協会、平成26年1月
- [5] 中井博康ほか，“豚標準肉色模型の作製”，畜産研究所研究報告29号，p69-74，1975

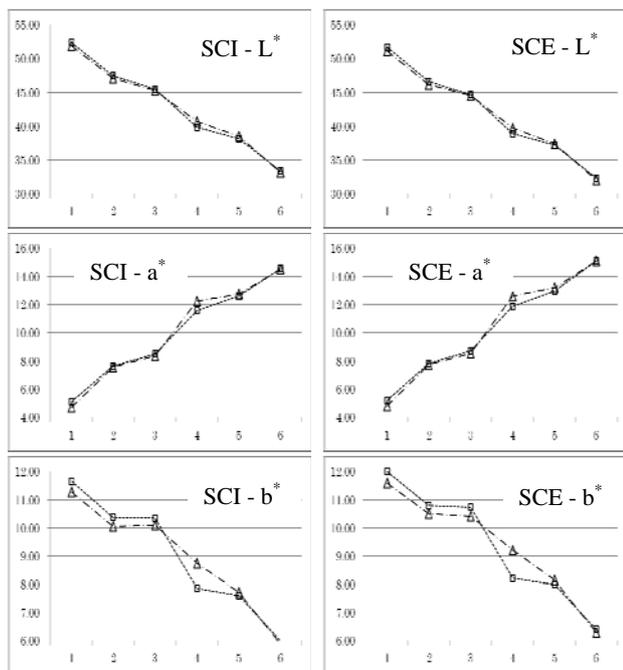


図7 PCS色計測結果（横軸：PCS）