

豚肉色評価装置の開発(第3報)

浅井 博次 吉岡 豪*

Development of Pork-Color Digitization Device (3rd Report)

Hirotsugu ASAI Go YOSHIOKA*

あらまし 肉質を評価する重要な指標の一つである肉色は人による感性評価に基づいて評価されているが、個人差や体調等による評価の変動が課題となっている。そこで、客観的で再現性のある肉色評価を目指し、デジタルカメラを用いた豚肉用携帯型肉色評価装置の開発を進めてきた。本研究では、豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（基準色票）を撮影した画像を色補正に使用することで、再現性に配慮した色推定方法を採用した。本年度、基準色の再設定等により、豚赤身領域の客観的的肉色評価が可能となった。本報では、主に開発した装置による色推定精度の検証結果について報告する。

キーワード 豚肉, 肉色, 客観評価, デジタルカメラ

1. はじめに

食肉の肉質評価において、見た目は非常に重要な指標の一つである。消費者が購入する際はもちろん、格付けや育種検討においても、肉質を判断する主要な指標として利用されている。見た目の中で評価される項目には、赤身や脂肪の色、脂肪の量、さしの入り方などがある。本研究では、その中でも色に着目する。

色は一般的に人による感性評価に基づいて評価されている。色は“見る”という単純な行為により誰もが評価することが可能である。一方、格付け員など特別な技術を有する人と一般消費者では評価能力に大きな違いがある。また、感性評価は人のあいまいで複雑な感性を定量的・定性的に評価するための手法であるが、個人差や体調などによる変動を排除することができない。そのため、高い評価能力を有する人の評価であっても、評価水準を一定に保つことは非常に困難であり、色評価の大きな課題となっている。

そこで、本研究では撮影条件を一定に保つことで再現性高く肉画像を撮影し、撮影した画像から肉色を客観的に定量化することが可能な携帯型装置の開発を進めている。本

年度、昨年度問題の発覚した基準色設定を再検討し、再設定することで豚赤身領域の客観的的肉色評価が可能となった。本報では、主に、開発した装置による色推定精度の検証結果について報告する。

2. 携帯型肉色評価装置

2. 1 装置概要

本装置はハンガーに吊り下げられた豚枝肉のロース芯の色を計測することを主目的とした携帯型の肉色撮影装置である。豚赤身領域について、撮影した画像1ピクセル毎の色評価が可能であり、D65光源下での色で肉色を定量化する。図1に開発した装置の外観を示す。

内部にカメラ、反射鏡、照明（太陽光に近いスペクトルを有する高演色COB型LED）、照明用定電流回路基板を実装し、装置底面に撮影用の開口部がある。これにより、環境光の影響を受けず、一定の条件下で対象の肉の正面画像を撮影できる。枝肉の切断部に本装置を差し込み、切断面に密着させて撮影することで、被写体との距離・角度の変動を抑えた安定した肉画像が取得できる。また、電源供給を腰部に保持する大容量モバイルバッテリーから行うことでコンセントなど固定された電源との接続を不要とし、現場での自由な撮影を可能としている。撮影する画像は装置上部のタブレットで確認、シャッター操作は装置外部に配置したボタンで行う。

2. 2 色推定手法

再現性の良い色推定を可能とする手段として、豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（以下、基準色票という）を撮影した画像を色補正に使用する手法を採用した。基準色票の画像は撮影用開口部

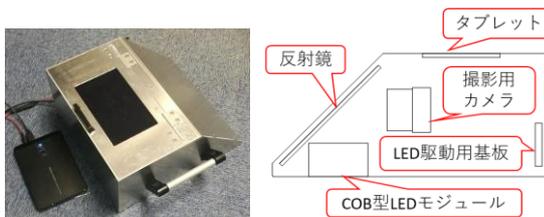


図1 携帯型肉色評価装置

* 岐阜県畜産研究所

の全領域に基準色票が映り込むように撮影する。

色推定の手順を以下に示す。

1. 校正用白色板、及び、基準色票を撮影する
2. 白色板画像により、基準色票画像および豚肉画像の光強度ムラを補正する
3. 基準色票画像と豚肉画像の対応する画素値を用い、線形補間により対象画素の色を推定する

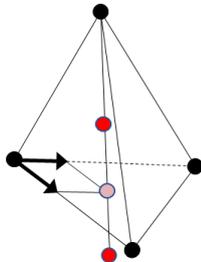


図2 4面体による線形補間のイメージ

ステップ3では、基準色で囲まれる領域 (=基準色色空間) を、基準色を頂点とする4面体領域に分割し、推定対象の点が内包される (面上を含む) 4面体領域を導出し、内挿による線形補間 (図2参照) を実施する。

推定対象の点が基準色空間の外にある場合は、近傍4面体からの線形性に基づいた外挿法により、対象点の色を推定する。ただし、大きく離れた色は推定精度の低下が懸念されるため、当該四面体からの距離に閾値を設け、色推定を行う対象を制限している。

昨年度問題が発覚した基準色設定については、豚赤身色領域を内包する基準色空間の設定を目指し、第2報¹⁾で述べた豚肉ロース芯の分光画像計測結果と本年度実施した色評価検討の結果に基づき、改めて11色を選定した。作成できない色があったことから、「濃く暗い赤色」など一部の豚赤身色が基準色空間の外となってしまったが、それらの色については、前述の外挿法により色を推定する。

2. 3 色推定精度の検証

精度検証用として用意した色票24枚を計測し、本装置の色推定精度の検証を行った。以下、分光色彩計によるグリッド状12点計測による平均値を当該色票の真値とみなし検討を進めた。本研究で使用した色票の空間的な色のばらつきは、上記分光色彩計によるグリッド状12点計測において標準偏差0.5以下であった。色推定精度の評価は、ロース芯を撮像する領域として想定している画像中心部分の約120mm×100mmの矩形領域Aと、一回り大きな150mm×120mmの矩形領域Bに対して行い、当該領域内の全ピクセルに対して推定された色の平均値の精度 (真値との色差) 及び標準偏差を求めた。

内挿による線形補間で色推定が行われる基準色空間の中にある7色の推定結果を図3に示す。精度・ばらつき共、領域A・B間で大きな差は見られない。また、色の精度は真値との色差が最大2.3 (平均1.5)、推定値のばらつきは色差1前後であり、安定した色推定が実現できている。

次に、外挿法により色推定が行われる基準色空間の外

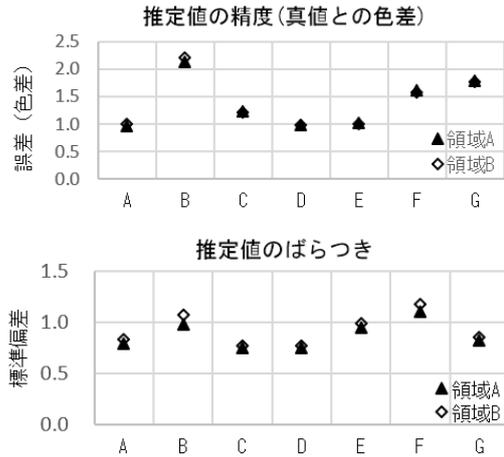


図3 推定値の精度とばらつき (内挿)

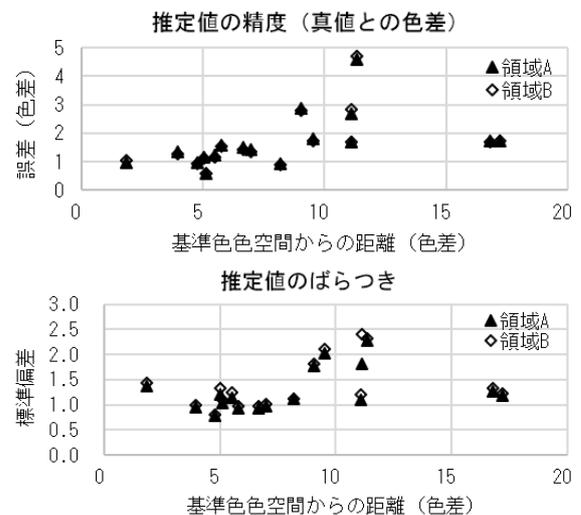


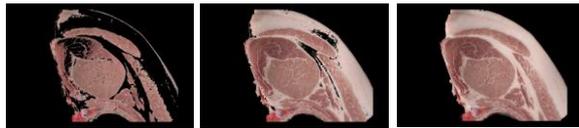
図4 推定値の精度とばらつき (外挿)

にある17色の推定結果を図4に示す。横軸は基準色空間から対象色までの色差、縦軸はばらつき (=標準偏差) である。図4では、精度・ばらつき共、横軸=8あたりを境に、大きな違いが見られる。横軸=8以下では、色の精度は誤差真値との色差が2以下、ばらつきが1.5以下と安定した色推定が実現できている。一方、横軸=8以上では、真値との色差が4以上のものや、ばらつきが色差2以上のものが見られるなど、不安定である。

上記の結果から、基準色空間内、および、基準色空間からの色差が8以下の領域内の色については、一定の精度で安定した色の推定が可能であることが確認できた。

この安定した色推定が可能な領域がどの程度の豚赤身領域をカバーしているかを確認するため、外挿法による色補正を行う対象を基準色空間からの色差に上限閾値を設け制限して生成した色補正画像例を図5示す。

基準色空間からの色差を8以下に制限した場合 (=色差閾値8.0) の色補正画像から、赤身のほとんどの領域を安定した精度で色推定できることがわかる。色推定精度の低下が懸念される色差閾値8.0で色推定できていない赤身領



色差閾値=8.0 色差閾値=20.0 色差閾値=30.0
色差閾値：外挿法による色補正を行う場合の基準色空間からの色差上限

図5 色補正画像生成例

域は、閾値をあげて生成した補正画像から「濃く暗い赤」の領域であることがわかる。「濃く暗い赤」は良好ではない肉色にあたる。現在は肉質改良が進み、肉色については良好な色の中での最良を目指している段階である。良好ではない肉色の色推定精度低下が育種改良等へ大きな影響を及ぼすことはないと思われることから、育種改良のための肉色評価装置として、本装置は十分な性能を実現できたものと考えている。

本研究で採用している色推定方法は基準色票が空間的に一定の色であることを前提としている。そのため、基準色票の空間的な色のばらつきは上記の閾値を決定する主要な要因の一つだと思われる。閾値をあげることができれば、より広い色領域の高精度な色推定が可能となることから、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定性能の関係について調査した。

まず、基準色票自体が開発装置内でどのように評価されているかを確認する。本研究ではA4サイズの基準色票11枚を使用している。分光色彩計でそれぞれグリッド状に12点計測を行った計測値の標準偏差は平均0.22, 最大0.47であった。図6は開発装置で撮影した基準色票の光強度ムラ補正画像の空間的な色のばらつきを示したものであり、縦軸はL*a*b*空間での標準偏差、横軸は基準色票番号である。図7は基準色票を分光色彩計で計測した値(=真値)のばらつきと図6で示した開発装置による光強度ムラ補正画像の色

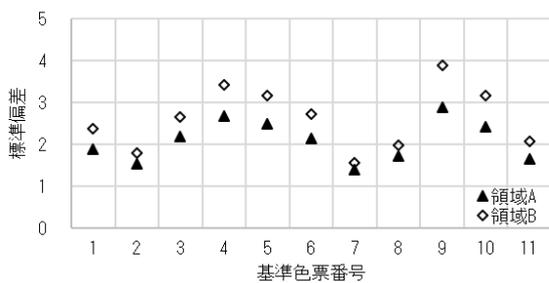


図6 基準色票光強度ムラ補正画像の色のばらつき

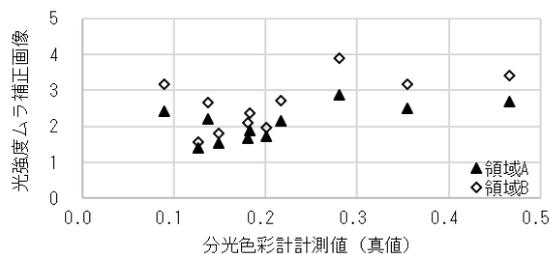


図7 基準色票の色のばらつき 真値vs計測値

(=計測値)のばらつきの関係を示したものである。縦軸は計測値の標準偏差、横軸は真値の標準偏差である。

図6から、基準色票の光強度ムラ補正画像の色のばらつきが真値のばらつきの10倍程度に拡大していることが分かる。また、計測値のばらつきの大きさも色によって大きく異なっている。一方、図7からは、真値のばらつきと計測値のばらつきとの間には、予想していたような明確な相関は見られない。

次に、基準色空間の外にある色の色推定について、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定性能との関係について調査した。図8に結果を示す。

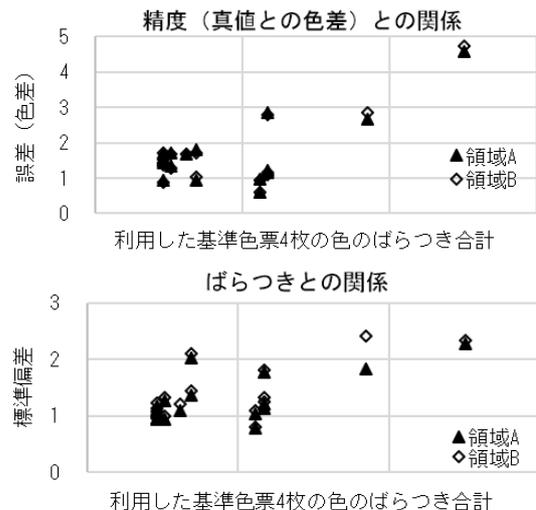


図8 色推定性能と基準色票の色のばらつきとの関係

本装置では基準色を頂点とする4面体による線形補間(図2)により色を推定するため、「色推定に使用する4面体領域を構成する基準色4色の色票の空間的な色のばらつきの合計」を横軸とした。

図8より、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定精度および色推定結果のばらつきとの間に正の相関があることが確認できる。この結果から、基準色票の空間的な色のばらつきを抑えることで、基準色空間外の色推定精度の向上を図れることがわかる。

本研究では、当初設定した基準色の何色かが製作できない色に該当したことから、基準色空間が豚肉の赤身色領域をできる限りカバーできるように、一部の基準色で製作可能なギリギリの色を採用している。それが基準色票の空間的な色のばらつきの増加を招き、結果として、色推定性能の引き下げ要因となっている可能性は否定できない。次回の基準色票作成にあたっては、作り易い色を基準色に設定することで基準色票の空間的な色のばらつきを抑制するなど、「色基準色空間を広くとること」と「基準色票の色の空間的なばらつきを抑制すること」の両方に配慮し、豚赤身領域全体の色推定精度向上を図る予定である。

3. 豚枝肉の評価

食肉格付における肉色評価では、1つの枝肉に対しこれはPCS〇〇、というように1つの評価値を与えている。これに対し、開発した肉色評価装置では、最小で1ピクセル毎の色推定が可能であり、非常に詳細な色の評価が可能となる。一方、これまで述べてきたように、推定した色の値にも誤差やばらつきが含まれている。対象の肉自体にも、色のばらつきが存在している。これら複数の要素を内包するデータから有効な肉色評価指標を選定する方法は、まだ確定されていない。

そこで、その答えを導き出すためのツールとして、指定した画像領域に対する色の分布や平均値を表示する機能を有する肉色解析支援ツールを用意している。このツールでは、RGB、及びL*a*b*の要素毎のヒストグラム、及び平均値の可視化が可能である。第2報¹⁾で報告したように、主成分分析による豚肉赤身色の色分布調査の結果、豚肉赤身色分布がL*a*b*色空間において平面状に分布していることが確認できている。そこで、豚肉色平均値を原点とし、推定値を各主成分軸に落とした値PC1,PC2,PC3についても、同様に要素毎のヒストグラム、及び平均値を可視化する機能を実装した。豚肉赤身の色の指標化として有望と思われる第1主成分軸に落とした値PC1と第2主成分軸に落とした値PC2とのプロットも表示可能である。

食肉の赤身部分には、脂肪部分が複雑に交じり合った「さし」と呼ばれる領域があり、どこまでを脂肪領域とするかによって評価結果が変わる。そのため、赤身領域と脂肪領域とを分離するための閾値を任意に設定できるようにしている。

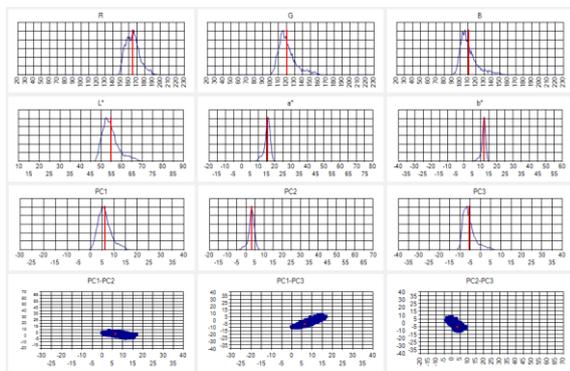


図9 豚肉色評価例

にしている。

図9に豚肉色評価の例を示す。上左から1段目がR値, G値, B値, 2段目がL*値, a*値, b*値, 3段目がPC1 値, PC2 値, PC3値, 4段目がPC1 vs PC2プロット, PC1 vs PC3プロット, PC2 vs PC3プロットである。第1～3段目のグラフにより、指定領域の色とばらつきの傾向を把握することができる。4段目、特に左端のPC1 vs PC2プロットは、指定領域の色の判断に利用できると考えている。

育種等で肉質を評価する場合、評価対象である肉のデータベース化は不可欠である。特に、情報量が多く、直観的

な情報である画像は非常に重要である。本装置は、色評価用標準光源として規定されているD65光源下の画像を生成することができることから、常に同じ条件での画像記録が可能であり、データベース用の画像記録の点でも活用が期待できる。データベース用画像では脂肪部分も含めた画像が必要になるが、図5に示すように、基準色色空間からの色差閾値を大きくとることで脂肪領域も含めた色補正画像の生成が可能である。

本装置では、光源に太陽光スペクトルに近づけたスペクトル強度を有する特殊な光源を使用している。そのため、本装置による光強度ムラ補正画像は色評価用光源を照射して撮影した画像に相当するものと考えられる。しかしながら、本装置による基準色票の光強度ムラ補正画像を評価したところ、真値との間には7～14と大きな色差が見られた。このことから、脂肪領域など色差閾値を大きくとったことで色補正が可能となった領域の色推定精度が低くなってしまふ可能性が懸念されるものの、本装置により生成される色補正画像は、色評価用光源照射により撮影される画像と同等以上の色精度を有する画像記録であると考えられる。

4. まとめ

豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（基準色票）を撮影した画像を色補正に使用することで、豚肉色を客観的に定量化する事が可能な携帯型肉色評価装置を開発した。検証を行った結果、本装置が豚赤身領域の色を安定した精度で推定することができることを確認した。

本装置は1ピクセル毎の色推定が可能であり、従来不可能であった空間的な色のばらつき評価など、詳細な肉色解析を可能とするものである。また、一定条件下での肉画像生成が可能であることから、育種等における肉質データベース用記録装置としても活用が期待できる。

今後、本装置による肉色評価を継続実施していくことで、現状に即した適切な豚肉色指標の策定につなげていく予定である。

謝 辞

開発した装置の性能検証実験において、ご協力をいただきました中濃ミート協同組合の皆様へ深く感謝致します。

文 献

- [1] 浅井博次, 吉岡豪, “豚肉色評価装置の開発(第2報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.30-33, 2017.