

醤油 AI 色番号判定支援システムの開発

Development of Soy Sauce AI Color Number Judgment Support System

電子・機械技術部 電子・情報科 三瓶史花

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 齋藤啓太

食品業界は香りや色、味など、人の五感による判定が重要な役割を果たしている。醤油も目視で色を判定しており、個人による比色のばらつきが課題となっている。本研究では、測定装置を作製し、画像処理及びAI技術を用いて色番号を出力する支援システムを開発した。色彩計及び目視との比較評価を実施し、AI方式は色彩計に近似する色番号を判定できることを確認した。

Key words: 醤油、色番号、AI、画像処理、支援システム

1. 緒言

近年の技術進展に伴い、生産現場の検査方法は自動化やAI技術の導入が進んでいる。これにより、品質検査の速度及び精度が向上しているものの、依然として人の五感に依存した正常・異常の判定が、多く残されている。特に、食品製造業では香りや色、味などの感覚的判定（官能評価）が重要な役割を果たしている。

醤油は種類や等級を色で判定する項目¹⁾がある。この色は番号で規定されており、色番号と呼ばれ、色が濃いほど値が小さく、淡いほど大きくなる。色番号を求めるには、しょうゆ標準色²⁾と比色して判定することと日本農林規格（JAS規格）によって規定¹⁾されている。しかし、目視による判定のため、判定員の経験や体調に大きく左右し、周辺環境の影響も含め、個人差やばらつきが生じてしまう課題がある。

そこで、これらの課題を解決するために、色番号の判定支援を行うシステムを開発する。本システムにより、人間の感覚に依存しない客観的な評価が可能となり、課題であるばらつきを減少させることができる。更に、熟練した判定員の不足による影響を軽減し、検査プロセスの効率化と品質向上が期待される。

本報告書では、測定装置の製作及び支援システムの各手法と、その評価について報告する。

2. 開発

2. 1. 装置の開発

本開発では、醤油の色番号を判定するための測定装置を開発した。試験に入った醤油を照明で照らし、カメラで映像を取得する。装置は光環境と持ち運びを考慮、大きさが約W:165[mm]、D:105[mm]、H:110[mm]の、黒いポリプロピレンのボックスを使用した。主な部材は表1のとおり。装置内部を図1に示す。左端にカメラを固定し、およそ700[mm]先に醤油用の治具、アクリル板、照明の順で配置した。

醤油用の治具は直方体になっており、中央に穴が開

いているため、上から試験管を差し込むことができる。また、カメラ側と照明側に窓が作られており、後ろには、乳白半透明のアクリル板がついている。

表1 使用部材

メーカー	名称・型番
HiKOKI	マルチツール用アクセサリーケース
ELP	ELP-USB500W02M-AF30
Optos supply	OSW4YK3Z72A

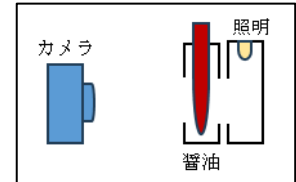


図1 装置内部及び横から見た構成図

照明はLEDを使用し、USB micro-Bで給電が可能である。商用電源からAC/DCスイッチング電源を介して、DC5[V]を供給する。また、LEDだけでは光がボックス内に散乱してしまうため、中が空洞の直方体の白い治具を作製した。LEDの基板をこの治具の上部に取り付けることで、中で光が拡散反射して、カメラ方向に設けられた窓より光が出る仕組みになっている。図2に治具を示す。左が醤油用で右が照明用である。治具2つは、3Dプリンタを用いて作製した。



図2 治具

2. 2. 画像処理方式による色番号の取得

2. 2. 1. 構築システム

カメラで撮影している映像をもとに、画像処理で色番号を求める python³⁾ プログラムを作成した。操作性を高めるため、Tkinter⁴⁾ を用いて GUI アプリケーションとして実装した。判定画面を図3に示す。カメラから取得した映像の中央領域の色情報を解析し、色番号を動的に表示させることができる。ウィンドウ右には $L^*a^*b^*$ の値と、色番号が表示される。左上にはカメラ映像が、左下には画像を保存できるボタンと、ウィンドウを閉じるボタンが備わっている。



図3 アプリケーション画面

カラーモードの選定において、「しょうゆの日本農林規格」では、色の判定に CIE1976L*a*b*色空間⁵⁾ が引用されており¹⁾、本画像処理システムにおいても、この色空間を採用した。また、明るさで判断するようにとの標準色付属説明書の記載に従い、明度 L^* のみを用いる。まず、OpenCV⁶⁾ でカメラから取得した画像中央領域 9×9 ピクセルの RGB 値を平均し、skimage ライブラリの `rgb2lab` 関数⁷⁾ を用いて CIE L*a*b*色空間へ変換した。この変換された明度 L^* より番号を算出し、アプリケーションに表示する構成とした。

2. 2. 2. 判定結果

標準色を測定した結果を図4に示す。なお、標準色は偶数番のみ存在し、奇数番及び58番、60番は欠番となっている。

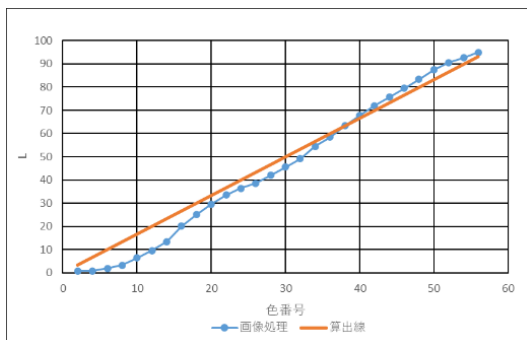


図4 画像処理方式による色番号判定結果

橙色の直線は、色番号算出式から計算した想定明度である。14番以下は最大で10以上想定明度線と離れており、色番号にして6異なっていた。精度にすると77.7[%]だった。

そこで、判定結果を想定明度線に近似させるため、図3で得られた明度 L^* と、想定明度の差を利用して補正を行った。再度標準色を測定した結果を図5に示す。想定明度との差は、大きいところで2.25、精度も97.8[%]と向上させることができた。

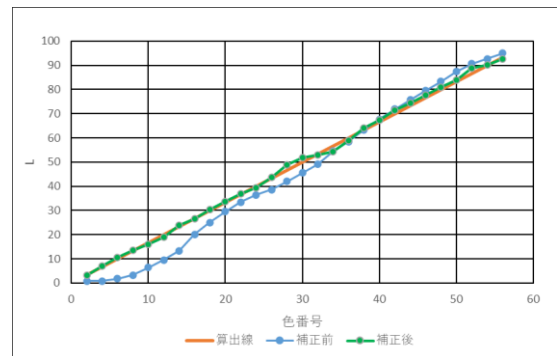


図5 補正後の明度 L^*

2. 2. 3. 考察

14番以下の差が大きくなった理由としては、明度の飽和が発生しないよう、照明の光量を少なく調整したことが影響していると考えられる。薄い醤油では光を透過しやすいため、想定との差が最大4と小さかったものの、濃い醤油では光を透過しにくくなり、差が大きくなってしまったと考えられる。

2. 3. AI方式による色番号の取得

2. 3. 1. 構築システム

判定には Yolov11⁸⁾ を用いた。はじめに、測定装置内で標準色を撮影し、labelImg⁹⁾ を使用してアノテーションを行うことで、醤油用の学習データセットを作製した。

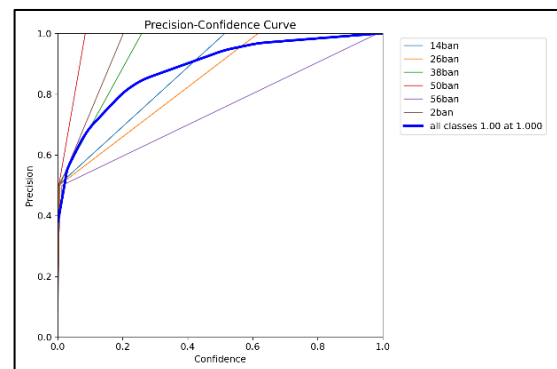


図6 学習結果 (精度曲線)

モデルは事前にトレーニングされている YOLO11n で実施した。学習を行い、精度曲線の結果が良好だったモデルを重みファイルとした。精度の結果を図 6 に示す。

実際の判定画面を図 7 に示す。OpenCV でカメラ映像を取得し、学習させた重みを使って、リアルタイムで推論した。判定場所にはバウンディングボックスと色番号が表示される。

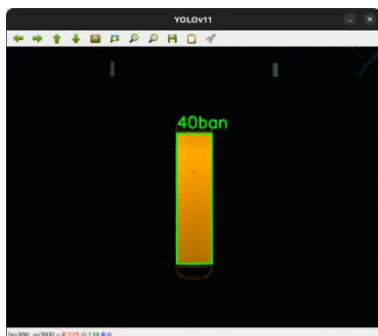


図 7 判定画面

2. 3. 2. 判定結果

判定結果を図 8 に示す。標準色の欠番である奇数番及び 58 番、60 番については、学習データが存在しないため、判定されない。また、2 番、18 番、20 番、22 番については判定されなかった。判定できなかった番号を除くと、精度は 95.4[%] だった。

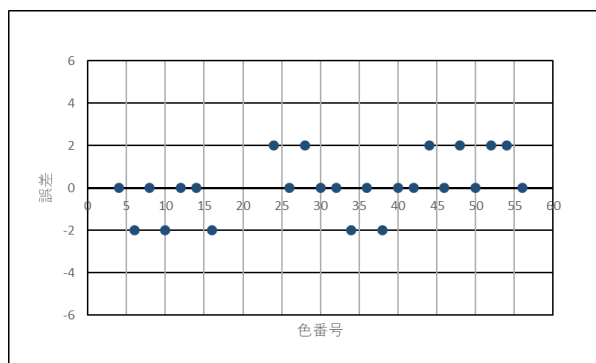


図 8 AI 方式による色番号判定結果

2. 3. 3. 考察

判定されなかった 2 番については、画像処理と同じ照明で光が醤油をほとんど透過しなかったため、判定できなかったと考えられる。18 番、20 番、22 番は学習データが存在するものの判定されず、判定条件を変更しても同様だった。ただ、ほかの番号については問題なく判定されていることから、学習データ量を増やし、エポック数の増加、モデルの変更や学習・推論時のハイパーパラメータの調整などによって、判定できると考える。

3. 有効性の検証

3. 1. 比較手法

画像処理方式と AI 方式の有効性を確認するため、色彩計と目視の 2 つの手法と比較した。色彩計は会津若松技術支援センターが所有している、日本電色株式会社製の ZE7700 を使用し、透過にて測定した。



図 9 色彩計 ZE7700

また、目視は、福島県醤油醸造協同組合に赴いて、標準色を使用した判定方法を教授いただき、当職員が行った。

3. 2. 結果

市販されている醤油を 5 種類用意し、判定を行った。結果を表 2 に示す。なお、色彩計は、測定した明度 L* から色番号を算出した¹⁰⁾。

表 2 色番号比較

	色彩計	目視	AI	画像処理
醤油①	53	52	52	49
醤油②	36	39	36	31
醤油③	16	19	10	13
醤油④	32	38	32	25
醤油⑤	9	11	8	6

3. 3. 考察

色彩計及び目視と比較して、ともに AI 方式の方が近い色番号を示した。目視は個人差が出るため、今回は色彩計で求められた色番号を正と仮定して差を求め、平均絶対パーセント誤差を算出した。目視が 14.0[%]、AI 方式が 11.1[%]、画像処理方式が 19.1[%]と、一番近似しているのは AI 方式であった。醤油③を除いて、前後 1 番内を判定している。③の誤差が大きいのは、2. 3. 3. において考察したとおり、学習データ量等が影響している可能性がある。

また、画像処理方式はすべて一致しなかった。L* はあくまでも計算値であり、測定値ではない。そのため、近づけるには、さらに補正を加える必要がある。ガンマ補正にコードで掛け外し処理を入れることや、グレ

ースケール化による補正などが考えられる。

今回は着手まで届かなかったが、AI 方式においては、欠番を学習させることができれば、奇数番等についても判定が可能となる。市販の醤油を使用して、都度測色計で調整しながら作製することとなり、膨大な時間がかかるが、その分、色相や彩度が異なる学習データを増やすことができ、大幅な精度向上を見込めるため、メリットは大きいと考える。

4. 結言

醤油の色番号を判定する装置を作製し、画像処理方式及び AI 方式での判定システムの構築を行った。それら手法と、色彩計及び人による目視判定を比較評価し、AI 方式は色彩計で算出した色番号と近似する結果を示した。これにより、目視判定を支援し、安定した色番号の判定を行うことが可能となった。今後は、さらなる精度向上を目指して、検証・評価をしていく予定である。

謝辞

目視による判定手法をご教授くださいました、福島県醤油醸造組合の理事兼工場長、紅林孝幸氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) JAS1703 (しょうゆ) . 農林水産省. 2021,p1-12.
- 2) “しょうゆ標準色”. 一般社団法人日本醤油技術センター. <https://www.shoyu.or.jp/>, (参照 2025-02-25).
- 3) “Welcom to python.org”. python. <https://www.python.org/>, (参照 2025-2-26).
- 4) “tkinter — Python interface to Tcl/Tk”.python. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>, (2025-02-26).
- 5) JIS Z 8781-4 (測色—第4部 : CIE 1976 L*a*b *色空間) . 日本規格協会. 2022, p416-431.
- 6) “OpenCV - Open Computer Vision Library”. OpenCV. <https://opencv.org/>, (参照 2025-02-25).
- 7) “skimage.color”. Scikit-image, <https://scikit-image.org/docs/stable/api/skimage.color.html>, (参照 2025-2-17).
- 8) Ultralytics. “Ultralytics YOLO11”. Github. 2024. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>, (参照 2025-2-17).
- 9) HumanSignal. “labelImg”. Github. <https://github.com/HumanSignal/labelImg>, (参照 2025-02-25).
- 10) “測色値による等級の推定”. COLOR No167.日本色彩研究所. <https://www.jcri.jp/square/journal/>, (参照 2025-2-17).

1/, (参照 2025-2-17).